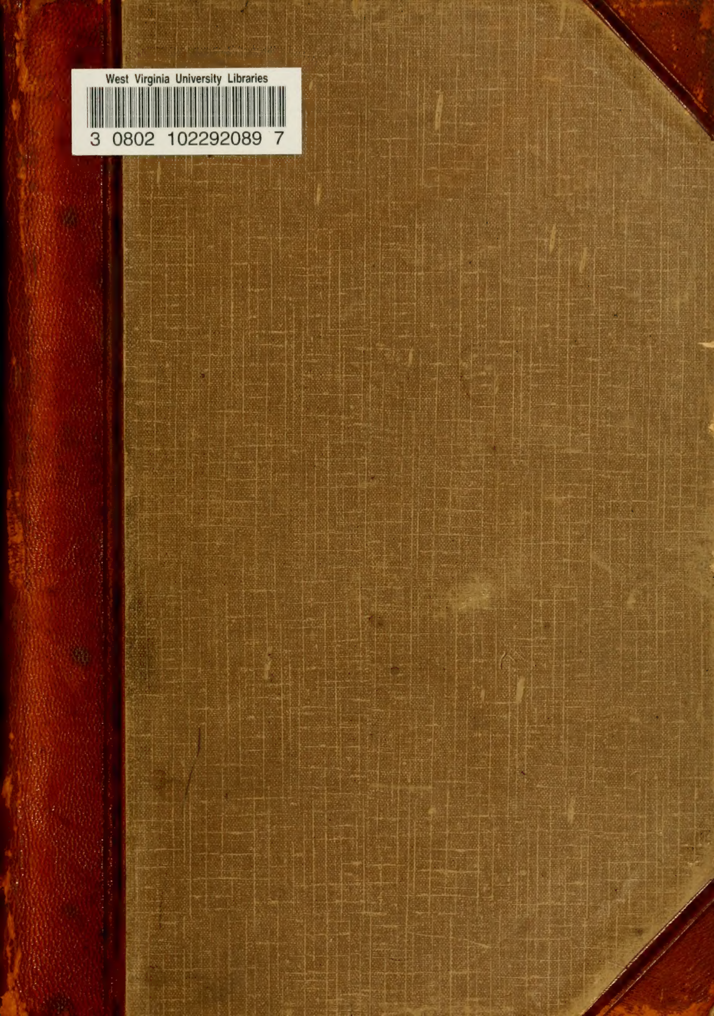

West Virginia University Libraries
3 0802 102292089 7





HANDBUCH

DER

GESAMTEN AUGENHEILKUNDE

ZWEITE NEUBEARBEITETE AUFLAGE

VIERTER BAND

ERSTE ABTEILUNG



GRAEFE-SAEMISCH
HANDBUCH
DER
GESAMTEN AUGENHEILKUNDE

UNTER MITWIRKUNG

VON

PROF. TH. AXENFELD IN FREIBURG I. B., PROF. ST. BERNHEIMER IN INNSBRUCK, DR. A. BIELSCHOWSKY IN LEIPZIG, PROF. O. EVERSBUSCH IN MÜNCHEN, DR. A. FICK IN ZÜRICH, † PROF. ALFRED GRAEFE IN WEIMAR, PROF. R. GREEFF IN BERLIN, PROF. A. GROENOUW IN BRESLAU, DR. E. HEDDAEUS IN ESSEN, PROF. E. HERING IN LEIPZIG, PROF. C. HESS IN WÜRZBURG, PROF. E. VON HIPPEL IN HEIDELBERG, PROF. J. HIRSCHBERG IN BERLIN, PROF. E. KALLIUS IN GÖTTINGEN, DR. MED. ET PHILOS. A. KRAEMER IN SAN DIEGO, PROF. E. KRÜCKMANN IN LEIPZIG, DR. EDMUND LANDOLT IN PARIS, PROF. TH. LEBER IN HEIDELBERG, PROF. F. MERKEL IN GÖTTINGEN, PROF. J. VON MICHEL IN BERLIN, PROF. M. NUSSBAUM IN BONN, DR. A. PÜTTER IN GÖTTINGEN, PROF. TH. SAEMISCH IN BONN, PROF. H. SATTLER IN LEIPZIG, PROF. O. SCHIRMER IN GREIFSWALD, PROF. G. SCHLEICH IN TÜBINGEN, PROF. H. SCHMIDT-RIMPLER IN HALLE A/S., PROF. OSCAR SCHULTZE IN WÜRZBURG, PROF. H. SNELLEN IN UTRECHT, PROF. H. SNELLEN JR. IN UTRECHT, PROF. W. UHTHOFF IN BRESLAU, PROF. HANS VIRCHOW IN BERLIN, PROF. A. WAGENMANN IN JENA

HERAUSGEGEBEN

VON

PROF. DR. THEODOR SAEMISCH IN BONN

ZWEITE NEUBEARBEITETE AUFLAGE

VIERTER BAND
ERSTE ABTEILUNG

E. LANDOLT, DIE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

MIT 270 ABBILDUNGEN IM TEXT UND EINER TAFEL

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1904

Inhalt

der ersten Abteilung des vierten Bandes.

Kapitel I.

Die Untersuchungsmethoden

von **Dr. E. Landolt.**

Mit 270 Abbildungen im Text und einer Tafel.

Seite

Abschnitt I. Die Allgemeinbesichtigung des Patienten. Von Dr. E. Landolt (§ 1) . 1

Abschnitt II. Ophthalmoskopie (Die Untersuchung des Auges mittelst des Augenspiegels). Von Dr. E. Landolt (§ 2—29) 4

Die Theorie des Augenspiegels (§ 2) 4

Die Beleuchtung des Augengrundes (§ 3 u. 4) 5

Grundgesetze der Katoptrik. Konkavspiegel (§ 5) 11

Konvexspiegel (§ 6) 17

Das Zustandekommen des ophthalmoskopischen Bildes (§ 7—9) 20

I. Das aufrechte Bild (§ 8) 21

II. Das umgekehrte Bild (§ 9) 25

Die Vergrößerung der Augenspiegelbilder (§ 10—12) 27

Vergrößerung im allgemeinen 28

Vergrößerung bei der Untersuchung im aufrechten Bilde (§ 11) . . 30

Die Vergrößerung des umgekehrten Augenspiegelbildes (§ 12) . . 40

Verhältnis der Vergrößerung im aufrechten zu der im umgekehrten Bilde 47

Mikrometrie des Augengrundes (§ 13) 48

Das ophthalmoskopische Gesichts- oder Beobachtungsfeld (§ 14—16) . . 52

Der Ophthalmoskopie praktischer Teil (§ 17—21) 55

1. Der Spiegel (§ 17) 56

a) Der Planspiegel (§ 18) 57

b) Hohl- oder Konkavspiegel (§ 19) 58

2. Die Hilfsgläser (§ 20) 61

3. Der Griff des Instruments (§ 20) 64

4. Die Lichtquelle (§ 21) 64

Der Gang der Augenspiegeluntersuchung (§ 22) 66

Seite
Von den Augenspiegeln im speziellen (§ 23) 71
Demonstrationsaugenspiegel (§ 24) 83
Augenspiegel für zwei Beobachter 88
Augenspiegel für drei Beobachter 89
Binokuläre Augenspiegel (§ 25) 89
Autophthalmoskopie (§ 26) 93
Die Untersuchung des Auges unter Wasser (§ 27) 94
Die Untersuchung der brechenden Medien mit auffallendem und durchfallendem Lichte (§ 28) 96
Hornhautmikroskope 98
Bestimmung des Ortes von Trübungen in den brechenden Medien (§ 29) 99
Ausdehnung des dem Ophthalmoskope zugänglichen Teiles des Augengrundes 103
Litteratur zu Abschnitt II 104

Abschnitt III. Ophthalmometrie. Von Dr. E. Landolt (§ 30—46) 112
Das Ophthalmometer von Helmholtz (§ 30) 112
Die Prüfung des Ophthalmometers (§ 31) 117
Die Krümmung der Hornhaut (§ 32) 120
Der Krümmungsradius der Hornhaut 121
Die Bestimmung des Winkels Alpha (§ 33) 122
Der Durchmesser der Hornhautbasis (§ 34) 127
Die Hornhauthöhe (§ 35) 127
Die Tiefe der vorderen Kammer (§ 36) 128
Der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche (§ 37) 130
Der Ort der hinteren Linsenfläche (§ 38) 132
Der Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche (§ 39) 133
Das Phakoidoskop (§ 40) 135
Bestimmung des Brechungsindex der brechenden Medien des Auges (§ 41) 137
Bestimmung des Drehpunktes mit dem Ophthalmometer (§ 42) 137
Bestimmung der Brennweite von Linsen (§ 43) 138
Bestimmung des Brechungsindex von Konvexgläsern (§ 44) 140
Das Ophthalmometer von Coccius (§ 45) 141
E. Landolt's Ophthalmometer (§ 46) 142
Litteratur zu Ophthalmometrie 147
Keratoskopie und Keratometrie. Von Dr. A. E. Fick (§ 47—52) . 149
Litteratur zu Keratoskopie und Keratometrie 176

Abschnitt IV. Dioptometrie (Die Bestimmung der Refraktion des Auges). Von Dr. E. Landolt (§ 53—82) 179
Definition (§ 53) 179
Subjektive Methoden der Refraktionsbestimmung (§ 54—56) 189
Optometrie mit Hilfe von Brillengläsern 190
Optometrie mit Hilfe einer einzigen Konvexlinse (§ 57) 205
Optometer, beruhend auf dem Prinzipe des terrestrischen Fernrohres (§ 58) 211
Optometer, beruhend auf dem Prinzipe des astronomischen Fernrohres (§ 59) 213
Optometer, beruhend auf der Messung von Zerstreuungskreisen (§ 60) . 213
Bestimmung der Refraktion mit Hilfe der chromatischen Aberration des Auges (§ 61) 221
Objektive Methoden der Refraktionsbestimmung (§ 62) 223

Seite

Bestimmung der Refraktion mittelst des aufrechten Augenspiegelbildes (§ 63) 224
Bestimmung der Refraktion mittelst des umgekehrten Augenspiegelbildes (§ 64 u. 65) 232
Die Parallaxe bei der Refraktionsbestimmung (§ 66) 239
Objektive Optometrie mit Hilfe von Zerstreuungsbildern (§ 67—69) . . . 242
Die Koroskopie oder Skiaskopie 243
Historisches über die sogenannte Schattenprobe (§ 72) 266
Schätzung des Einflusses der Linse auf die Refraktion des Auges (§ 73) 268
Die Berechnung der Refraktion des Auges vor und nach Linsenverlust . 269
Die Bestimmung des Astigmatismus (§ 73—79) 275
Die Bestimmung des regelmäßigen Astigmatismus (§ 74) 280
A. Subjektive Methoden zur Bestimmung des Astigmatismus (§ 75—77) 280
Bezeichnung der Richtung der Hauptmeridiane des astigmatischen Auges (§ 77) 288
B. Objektive Methoden zur Bestimmung des Astigmatismus (§ 78 u. 79) 292
Bestimmung des Astigmatismus mit Hilfe des aufrechten Bildes 294
Bestimmung des Astigmatismus mit Hilfe des umgekehrten Bildes 295
Die Bestimmung des Astigmatismus mittelst der Koroskopie oder Skiaskopie (§ 79) 299
Bestimmung des Astigmatismus mittelst der Messung der brechenden Flächen des Auges 300
Bestimmung der Akkommodation oder der dynamischen Refraktion des Auges (§ 80—82) 303
Bestimmung des Leseglases 314
Bestimmung des Verhältnisses zwischen Akkommodation und Konvergenz, der relativen Akkommodations- und Konvergenzbreite 317
Litteratur zu Abschnitt IV 319

Abschnitt V. Photometrie und Photoptometrie (Lichtmessung und Untersuchung des Lichtsinnes). Von Dr. E. Hummelsheim (§ 83—112) 327
I. Photometrie (Lichtmessung) (§ 83—95) 327
Die Lichteinheiten (§ 95) 351
Litteratur zu Photometrie (Lichtmessung) 357
II. Photoptometrie (Untersuchung des Lichtsinnes) (§ 96—112) 361
Die Untersuchung der centralen Reizschwelle (§ 100—102) 363
Die Unterschiedsschwelle des centralen Lichtsinnes (§ 103—112) . . 366
Litteratur zu Photoptometrie (Untersuchung des Lichtsinnes) 386

Abschnitt VI. Chromatopsimetrie (Die Prüfung des Farbensinnes). Von Dr. A. Brückner (§ 113—132) 390
Allgemeines (§ 113—115) 390
I. Qualitative Untersuchungsmethoden (§ 116—128) 395
1. Wahlproben (§ 119) 400
2. Pseudoisochromatische Proben (§ 120) 403
3. Einstellbare pseudoisochromatische Gleichungen (§ 121—124) . . 408
Anhang (§ 125—128) 420
II. Quantitative Untersuchungsmethoden (§ 129—132) 425
1. Prüfung mittelst des kleinsten Netzhautbildes (§ 130) 427
2. Prüfung mittelst der minimalen Intensität des farbig wirkenden Lichtes (§ 131) 429

Seite
3. Prüfung mittelst der minimalen objektiven Sättigung (§ 132) . . 431
Litteratur zu Abschnitt VI 434

Abschnitt VII. Die Bestimmung der Sehschärfe. Von Dr. E. Landolt (§ 133—143) 448
Definition der Sehschärfe (Minimum separabile) 448
Die klinische Bestimmung der Sehschärfe 459
Die Maßeinheit zur Bestimmung der Sehschärfe 460
Der Ausdruck des Grades der Sehschärfe . . . . 464 u. 490
Das Intervall zwischen den verschiedenen Graden der Optotypen . . . 465
Die Optotypen im speziellen 470
Die Prüfung des Nahesehens (§ 143). 494
Litteratur zu Abschnitt VII. 497

Abschnitt VIII. Die Untersuchung der Funktionen des excentrischen Netzhautgebietes. Von Dr. E. Landolt und Dr. E. Hummelsheim (§ 144—211 503
Methoden der Gesichtsfeldmessung (§ 147—172) 507
Die graphische Darstellung des Gesichtsfeldes (§ 173—179) 539
Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes (§ 180—183) 548
Der blinde Fleck (§ 184—187) 551
Prüfung der Funktionen des indirekten Sehens (§ 188—211) 557
1. Die Prüfung des Lichtsinnes der excentrischen Netzhautteile (§ 189—197) 557
2. Die Prüfung des Farbensinnes der excentrischen Netzhautteile (§ 198—208) 563
3. Die Prüfung des Formsinnes der excentrischen Netzhautteile § 209—211) 570
Litteratur zu Abschnitt VIII 576

Abschnitt IX. Simulation von Schwachsichtigkeit und Blindheit. Von K. Wick § 212—215) 584
I. Simulation von Sehschwäche eines oder beider Augen, jedoch nur bis zu dem Grade, dass noch das Erkennen gewöhnlicher Sehproben, wenn auch nur der größeren, zugegeben wird (§ 213) 584
II. Simulation von Blindheit oder hochgradiger Schwachsichtigkeit eines Auges § 214) 587
A. Objektive Untersuchungsmethoden 587
B. Subjektive Untersuchungsmethoden 590
III. Simulation von hochgradiger Schwachsichtigkeit auf beiden Augen (§ 215) 597
Litteratur zu Abschnitt IX 601

Abschnitt X. Ophthalmotonometrie (Prüfung des intraokularen Druckes). Von Dr. F. Langenhan (§ 216—219) 606
Digitale Tonometrie (§ 217) 607
Instrumentelle Tonometrie (§ 218) 608
1. Impressionstonometer 609
2. Applanationstonometer (§ 219) 612
Litteratur zu Abschnitt X 617

Abschnitt XI. Methoden zum Nachweis und zur Lokalisation ins Auge gedrungener Fremdkörper. Von Dr. F. Langenhan § 220 u. 221 619
I. Ophthalmosideroskopie (§ 220) 619
Das Sideroskop von Asmus 621

Seite
Litteratur zu Ophthalmosideroskopie 628
II. Untersuchung mit Röntgenstrahlen (§ 221) 630
Litteratur zu Untersuchung mit Röntgenstrahlen 637

Abschnitt XII. Ortsbestimmung des Auges. Von Dr. F. Langenhan (§ 222) 640
Litteratur zu Abschnitt XII 654

Abschnitt XIII. Untersuchung der Augenbewegungen. Von Dr. E. Landolt (§ 223—244) 656
Bestimmung der Exkursionen der Augen (E. Landolt's Tangententeilung) 657
Messung des binokularen Blickfeldes (§ 224) 665
Bestimmung der Drehung des Auges um seine sagittale Achse (§ 225) . . 668
Bestimmung der symmetrischen Bewegungen der Augen (der Konvergenzbreite) (§ 226) 670
Bestimmung der positiven Konvergenz 672
Bestimmung der negativen Konvergenz oder Divergenz 674
Bestimmung der Insufficienz des Konvergenzvermögens (§ 227) 679
Der absolute Wert des Meterwinkels (§ 228) 680
Bestimmung der Gleichgewichtslage der Augen (§ 229) 683
Bestimmung des Binokularsehens (Stereoskope) (§ 230) 688
Die Sehobjekte für stereoskopische Untersuchungen (§ 231) 693
Untersuchung der Richtung der Augen beim Nahesehen (§ 232) 699
Untersuchung des Schielens (Strabometrie) (§ 233) 700
Bestimmung des Vorhandenseins des Schielens (§ 234) 708
1. Die Blickfelder beim Schielen . . . . 709 u. 739
2. Die Haltung des Kopfes 709
3. Die Projektion 710
4. Die Übertragung des Schielens von einem Auge auf das andere 711
5. Das Doppeltsehen 711
Die Verwertung des Doppeltsehens zur Diagnose des gelähmten Muskels (§ 235) 712
E. Landolt's Ophthalmotrop (§ 236) 717
Das einfachste Ophthalmotrop 719
Die Messung des Schielwinkels (§ 237) 722
Objektive Methoden zur Messung des Schielwinkels 723
Subjektive Methoden zur Messung des Schielwinkels (§ 238) 730
Das gelähmte von dem nicht gelähmten Auge zu unterscheiden (§ 239) . 735
Strabometrie mit Hilfe von Prismen (§ 240) 736
Die Numerierung der Prismen (§ 241) 737
Die Blickfelder beim Schielen (§ 242) . . . . 708 u. 739
Die Bestimmung der Projektion (§ 243) 740
Untersuchung der Beziehung der beiden Netzhäute Schielender zu einander (§ 244) 742
Litteratur zu Abschnitt XIII 743

Anhang. Semiologie der Pupillarbewegung. Von Dr. E. Heddaeus (§ 1—64) . . . 751
I. Vorbemerkungen (§ 1—8) 751
Zweck und Wert der Pupillenprüfung (§ 1 u. 2) 751
Pupillenweite und Wechsel derselben (§ 3—8) 753
II. Die Pupillenbahnen (§ 9—27) 758
1. Die centripetalen Pupillenfasern (§ 11—19) 760

Seite
2. Die centrifugalen Pupillenfasern (§ 20—27) 769
a) Der Nervus oculomotorius (§ 21—25) 770
b) Der Nervus sympathicus (§ 26 u. 27) 773
III. Prüfung der Pupillensymptome (§ 28—44) 774
Methode der Prüfung (§ 28—30) 774
Zur Frage: Sind die Pupillen normal weit (§ 31); gleich weit (§ 32); kreisrund (§ 33); oscillieren sie in normaler Weise? (§ 34) . . . 776
Zur Prüfung der Pupillenbewegungen (§ 35—44) 777
Lichtreaktion (§ 35) 777
Konvergenzreaktion (§ 36) 779
Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen (§ 37 u. 38) 780
Prüfung der Reflexempfindlichkeit der Augen (§ 39 u. 40) 781
Prüfung der Reflexempfindlichkeit der Netzhautperipherie (§ 41—44) 783
IV. Deutung der Pupillensymptome (§ 45—64) 786
Normale Pupillen (§ 47) 787
Abnorm weite Pupillen (§ 48—56) 787
1. Abnorm weite, dabei gleich weite Pupillen (§ 48—53) 787
a) Krankhaft verengte, dabei gleich weite Pupillen (§ 48—51) 787
Die Schlafmiosis (§ 52) 791
b) Krankhaft erweiterte, dabei gleich weite Pupillen (§ 53) . 791
2. Abnorm weite, dabei ungleiche Pupillen (§ 54 u. 55) 792
3. Unregelmäßig runde Pupillen (§ 56) 795
Abnorme Pupillenbewegungen (§ 57—60) 796
1. Abnorme Oscillationen (§ 57) 796
2. Störungen der Beweglichkeit der Pupillen (§ 58) 797
3. Störungen der Reflexempfindlichkeit der Augen (§ 59) 800
4. Störungen der Reflexempfindlichkeit der Netzhautperipherie (§ 60) 802
Disharmonie zwischen Reflexempfindlichkeit und Sehvermögen (§ 61) 803
Die Reflexempfindlichkeit bei Farbenblindheit (§ 62) 803
Die Pupillarreaktion bei Gesichtsfelddefekten (§ 63) 804
Therapie der Pupillenstörungen (§ 64) 804
Litteratur zum Anhang 805

Kapitel I.

Die Untersuchungsmethoden.

Von

Dr. Edmund Landolt

in Paris.

Eingegangen im Januar 1903.

I. Die Allgemeinbesichtigung des Patienten.

Von

Dr. E. Landolt.

§ 1. Kein Teil des menschlichen Körpers ist so vielen und so genauen Untersuchungsmethoden zugänglich wie das Sehorgan. Nichtsdestoweniger pflegen wir, ehe wir mit Ophthalmometer und Ophthalmoskop dem leidenden Auge zu Leibe gehen, den Patienten im allgemeinen einer aufmerksamen Betrachtung zu unterwerfen.

Wir beobachten denselben erst in einer gewissen Entfernung; lassen ihn dann auf uns zukommen und sich ungezwungen vor uns hinstellen oder setzen. — Hierauf richten wir ihn gerade, stellen namentlich den gewöhnlich schief gehaltenen Kopf normal und beginnen die Untersuchung des Auges; auch jetzt wieder erst auf eine gewisse Entfernung, das eine mit dem anderen vergleichend, die beiden in ihren gegenseitigen Beziehungen betrachtend. Dann erst wenden wir uns zur Untersuchung der einzelnen Teile derselben.

Alles dies mag sehr rasch vor sich gehen, hat aber für die Stellung der Diagnose die größte Bedeutung.

Eine Menge der wichtigsten Krankheitszeichen entgehen demjenigen, der, seiner Sache vermeintlich sicher oder vom Patienten geleitet, sich sofort dem als das kranke bezeichneten Auge zuwendet, dem anderen wenig, dem Allgemeinerscheinen keine Aufmerksamkeit schenkend.

Bedenken wir nur wieviele Augenleiden herrühren von allgemeinen Krankheiten, die dem davon Befallenen ihren Stempel aufzudrücken selten

ermangeln! So Syphilis, Diabetes, Nephritis, Tabes, gewisse Erkrankungen des Gehirns u. s. w.

Die verschiedenen Amblyopien und Amaurosen bedingen einen ganz verschiedenen Ausdruck des Patienten. Ein Mensch, der an Sehnervenatrophie erblindet ist, betritt unseren Konsultationsraum in durchaus anderer Weise, als ein an beiderseitigem Star leidender.

Intoxikationsamblyopiker erfreuen sich nicht selten eines sehr aufgeweckten Benehmens, das von dem bekümmerten Zustande anderer Halbblinder beträchtlich absticht. Ja, es lässt sich sogar eine chronische Entzündung von einer akuten, ein Geschwür der Hornhaut von der durch einen Fremdkörper erzeugten Reizung, schon auf Distanz, durch das Auftreten des Patienten unterscheiden.

Die so wichtigen und nicht immer leicht zu analysierenden Motilitätsstörungen bedingen häufig eine ganz charakteristische Kopfhaltung, ja einen eigentümlichen Gang, und sind von dem kaum zu verstehen, der sich nur mit dem einzelnen Auge beschäftigt; beruhen sie doch auf der Störung des Zusammenwirkens der beiden Augen.

Auch Ortsveränderungen, wie Vortreten oder Verlegung eines Auges in der Vertikalebene, können am Anfange nur durch den Vergleich der beiden Augen miteinander erkannt werden.

Dasselbe gilt für viele andere Eigenschaften der Augen, wie Färbung der Iris, Weite und Beweglichkeit der Pupille, die, an und für sich nichts Absolutes besitzend, erst durch den gegenseitigen Vergleich beider Augen richtig gewürdigt werden können.

Zu gleicher Zeit richten wir unsere Aufmerksamkeit auch auf das Gesicht. Asymmetrie desselben deutet auf Anisometropie, namentlich auf Astigmatismus; Facialislähmung ermahnt uns, auch die Funktion der Augenmuskeln zu untersuchen u. s. w.

Der Zustand der Nase und ihrer Nebenhöhlen, der Ohren, der Zähne, alles das hat seine Bedeutung für uns.

Es ist ratsam, diese Allgemeinbesichtigung — die sich in wenigen Minuten abthun lässt — vorzunehmen, ehe der Patient seine Klagen vorbringt. Man schafft sich so eine objektive Basis, auf welcher man seine Diagnose sicher und rasch aufbaut. Man findet auch manche Symptome, die zwar den Patienten nicht hergeführt haben und die er uns deshalb verschweigt, die aber doch früher oder später Bedeutung gewinnen können.

Handelt es sich um Anamnese und subjektive Untersuchung, so ist es unserer Ansicht nach sehr wichtig, es mit dem Patienten allein zu thun zu haben und das Dareinreden der begleitenden Personen möglichst zu vermeiden. Der Untersuchte ist so viel aufmerksamer, seine spontanen Antworten, auch wenn sie unvollkommen sein sollten, geben uns wertvolleren Aufschluss als die Bemerkungen der Angehörigen. Dies gilt

namentlich von Kindern, die gewöhnlich besser beobachten als die voreingenommenen Eltern.

Da die Untersuchung des Sehorganes zum großen Teil eine subjektive ist, gewöhnliche Menschen aber sehr schlechte Beobachter sind, sich von dem was sie empfinden nur höchst unvollkommen Rechenschaft geben, so halte ich es für wichtig, die Patienten schon durch die erforderte Haltung auf den Ernst der Untersuchung aufmerksam zu machen. Sie sollen gerade stehen oder sitzen, sich womöglich nicht anlehnen und aufstützen. Namentlich aber lassen wir uns die ohnehin schon schwierige Untersuchung nicht durch die Dazwischenkunft dritter Personen noch erschweren. Die Begleitung des Patienten soll wenigstens aus dessen Gesichtsfeld entfernt werden und sich ruhig verhalten.

Welches auch die Untersuchung sei, der wir den Patienten zu unterwerfen haben, so ist es ratsam, dabei immer methodisch vorzugehen. Es empfiehlt sich dies schon zur Aufnahme der Krankengeschichte.

Wie die chirurgischen, so sollen auch unsere optischen Instrumente stets rein sein. Wie zur Operation, so nehmen wir uns zur Untersuchung die nötige Zeit. Lieber garnicht, als oberflächlich untersuchen. Ein so gewonnenes Resultat ist nur dazu angethan, uns irre zu leiten.

Wie schon gesagt, eignet sich das Auge wie kein anderes Organ zur Anwendung wissenschaftlicher Untersuchungsmethoden. Die feinsten Apparate dienen dazu, seinen optischen Bau zu ergründen, seine so zarten Funktionen zu erforschen. Die Physiologie besitzt keine genaueren Instrumente als Ophthalmometer und Spektroskop, sie hat keine feineren Untersuchungen angestellt als die über den Bau und die Funktionen des Auges. Es kann aber nicht Zweck dieses Kapitels sein, alle diese, zum Teil der reinen Wissenschaft angehörigen Methoden, auseinander zu setzen. Wir müssen uns an das in der augenärztlichen Praxis Verwendbare, an das Einfache halten.

Unsere Aufgabe ist deswegen nicht um so leichter. Mit Recht sagt in der That unser verehrter Mitarbeiter Hering: »Es ist leicht, zweckmäßige Methoden und Apparate für die rein wissenschaftliche Untersuchung zu ersinnen, aber unendlich schwerer, ähnliches für die klinische Untersuchung zu leisten«.

Beschränken wir uns aber auch nur auf das praktisch Verwendbare, so werden wir uns doch bemühen, jeweilen das Prinzip der Untersuchungsmethoden so auseinander zu setzen, dass es auch dem Anfänger klar wird, und er somit auch zum Verständnisse der nicht angeführten Methoden und Instrumente keine Schwierigkeit finden wird.

II. Ophthalmoskopie.

Die Untersuchung des Auges mittels des Augenspiegels.

Von

Dr. E. Landolt.

Mit Fig. 1—52.

§ 2. Der Augenspiegel ist ein Instrument, welches dazu dient, das Innere des Auges sichtbar zu machen. Man kann sich allerdings fragen, warum man dazu eines besonderen Instrumentes bedarf. Warum sieht man, in der That, den Augengrund nicht direkt, da doch die davorliegenden Medien unter normalen Umständen vollkommen durchsichtig sind; warum ist die Pupille schwarz, warum scheint kein Licht aus dem Augeninnern zu kommen, auch wenn solches wirklich in dasselbe eindringt?

Diese Frage hat die Gelehrten jahrhundertelang umsonst beschäftigt, bis sie Helmholtz im Jahre 1851 mit einem Schlage löste.

Man nehme eine undurchsichtige, an einem Ende verschlossene Röhre, einen Gewehrlauf z. B., und sehe hinein. Man wird nichts darin erschauen als schwarzes Dunkel. Der Grund dafür ist sehr einfach: Beim Hineinsehen verdeckt man das Licht, das die Röhre erleuchten könnte und, wendet man sie dem Lichte zu, so sieht man eben nicht hinein, falls sie wenigstens, im Verhältnisse zu ihrer Öffnung, eine gewisse Länge hat, weil sie so nicht mehr in unserer Blicklinie liegt.

Dasselbe findet beim Auge statt, nur dass sich da vor und hinter der Öffnung noch ein optisches System befindet. Um den Grund der Röhre, den Grund des Auges, in dem Momente zu erschauen, wo er beleuchtet ist, muss man sein Auge in die Richtung der einfallenden und austretenden Lichtstrahlen bringen, ohne dieselben abzublenden.

Dies geschieht mit Hilfe eines Spiegels, der so gestellt wird, dass er einerseits das Licht einer seitlich von der zu untersuchenden Höhlung stehenden Flamme in dieselbe wirft, andererseits, dank einer Durchbohrung, einer vom Belage freien Stelle, oder einfach dadurch, dass man ihn so vor sein Auge hält, dass er nur einen Teil der Pupille bedeckt, gestattet, gleichzeitig in die untersuchte Höhle, in unserem Falle in das Innere des Auges zu blicken. Dies ist die ganze Theorie der Augen-, Ohren-, Uretra- und aller ähnlichen Spiegel.

Es ist wahrlich für unseren menschlichen Geist beschämend, dass vor Helmholtz der Verstand der Verständigen nur dazu ausreichte, über das Phänomen der Schwärze der Pupille die absurdesten Theorien zu ersinnen: Das Licht sollte im Innern des Auges vollständig absorbiert, es sollte in eine »andere Kraft« umgewandelt werden und deshalb nicht mehr herauskommen können u. s. w. u. s. w. — Wer weiß, ob nicht, wie die Kinder des Middelburger Optikers spielend Galiläi's Fernrohr erfanden, so das

kindliche Gemüt in Einfall schon lange das Ofenrohr mit einer Glasscherbe zu erleuchten wusste, ehe uns Helmholtz den schiefgestellten Spiegel zur Erforschung des Augeninnern in die Hand gab.

Allerdings begnügte sich Helmholtz nicht damit, uns zu zeigen, wie man die Pupille kann leuchten sehen, wie man Licht ins Auge wirft und solches wieder daraus erhält. Er konstruierte sofort ein durchaus brauchbares, zu allen möglichen Untersuchungen taugliches Instrument. Ja, er löste zugleich auch alle anderen, zum Teil sehr komplizierten, einschlagenden Fragen. Er diskutierte die Vorzüge der verschiedenen Spiegel, die Abschwächung des Cornealreflexes durch Polarisation des Lichtes, den Einfluss der Weite der Pupille auf die Beleuchtungsintensität, das Zustandekommen des aufrechten, sowie des umgekehrten Netzhautbildes, die Vergrößerung derselben, das Gesichtsfeld der ophthalmoskopischen Untersuchung, die Beobachtung der Objekte des Augengrundes: Papille, Makula, Gefäße, Chorioidea u. s. w. Er wies mit seinem Instrumente die Abwesenheit der Lichtempfindung im Sehnerveneintritte nach. Er zeigte wie man mit dem Augenspiegel die Refraktion eines Auges bestimmen kann. Ja, selbst die Autophthalmoskopie ist schon in Helmholtz's erster Veröffentlichung genau auseinandergesetzt (10, 13).

Die Tragweite seiner Entdeckung richtig erkennend, gab Helmholtz auch gleich deren Verwertung auf anderen Gebieten an, und das alles in klarster, knappster, wissenschaftlichster Form. Hätte Helmholtz auch nur die kleine Broschüre »Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge« geschrieben, diese 43 Seiten hätten genügt, ihm unsterblichen Ruhm zu gewinnen.

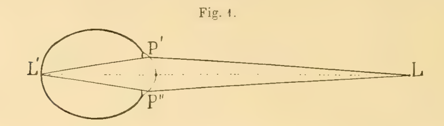
Die Beleuchtung des Augengrundes.

§ 3. Habe ich die Erklärung der Beleuchtung des Augengrundes mit dem Beispiele einer einfachen Röhre oder einer Höhlung mit enger Öffnung begonnen, so geschah es, weil ich erfahren habe, dass Helmholtz's Erklärung von Vielen nicht ganz richtig aufgefasst worden ist. Man begegnet nämlich hier und da der Ansicht, die Pupille erscheine deshalb dunkel, weil alles Licht, das ins Auge dringe, auf demselben Wege wieder nach der Lichtquelle zurückkehre, auf welchem es gekommen sei, so dass ein einfallender und ein ausfallender Strahl sich jeweilen decken. So ist aber die Sache nicht zu verstehen. Genau denselben Weg wie das der Lichtquelle entsprungene nimmt das vom Augengrunde kommende Licht nur dann, wenn das Auge auf die Lichtquelle optisch eingestellt ist, d. h. wenn die Entfernung der ersteren und die Entfernung des letzteren vom dioptrischen Systeme des Auges konjugierte Brennweiten sind. Entsteht von der Lichtquelle ein scharfes Bild auf dem Augengrunde, dann

gehen auch alle von der durch dasselbe beleuchteten Stelle herkommenden Strahlen wieder in die Lichtquelle zurück. Jeder Punkt der Lichtquelle hat im Augengrunde seinen konjugierten Brennpunkt und umgekehrt.

Dies Verhältnis ist in Fig. 1 versinnlicht, wo das Auge, auf den leuchtenden Punkt L eingestellt, von demselben ein scharfes Bild L' erhält. So wie

Fig. 1.



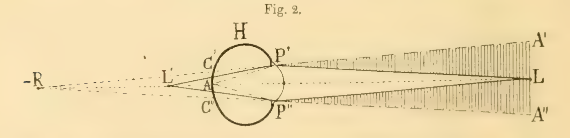
sich die von L ausgegangenenen Strahlen in L' vereinigen, so vereinigen sich die von L' kommenden in L.

Ist das Auge aber nicht auf die Lichtquelle eingestellt, kommt das Bild der letzteren vor oder hinter der Netzhaut zu stande, so erhält letztere nur ein Zerstreuungsbild der Flamme. Das davon bedeckte Feld ist nichtsdestoweniger erleuchtet, aber die von den verschiedenen Punkten desselben kommenden Strahlen gehen eben nach ihren konjugierten Brennpunkten, wie sie der optischen Einstellung des Auges entsprechen.

Das einfallende Licht darf in der That nicht dem vom Augengrunde kommenden, austretenden Lichte direkt gleichgesetzt werden. Das erstere dient gewöhnlich nur zur Beleuchtung, das letztere liefert das Bild desselben.

Es sei z. B. H (Fig. 2) ein hypermetropisches Auge, L ein leuchtender Punkt. Der von demselben ausgegangene Strahlenkegel $LP'P''$ wird durch

Fig. 2.



das optische System des Auges nach dem konjugierten Brennpunkte L' hin gebrochen, jedoch von der Netzhaut des Auges aufgehalten. Dort bildet er also einen Zerstreuungskreis von dem Durchmesser $C'C''$. Alle in diesem Bezirke begriffenen Punkte der Netzhaut sind beleuchtet, geben also auch wieder Licht ab. So z. B. der Punkt A. Aber, obschon mit L und L' auf derselben Achse liegend, vereinigen sich die dem Punkte A entsprungenen Strahlen nicht in L, sondern sie verlassen das Auge divergent, als ob sie

von dessen (negativem) Fernpunkte $-R$ herkämen, gegen A' und A'' hin. So entströmt also dem Auge ein Strahlenkegel $A'RA''$, der sich nicht, wie in dem vorigen Beispiele, vollkommen mit dem einfallenden $LP'P''$ deckt. Es bleibt zwischen beiden ein Hohlkegel, von dem $A'P'L$ und $A''P''L$ Durchschnitte darstellen und der nur von ausfallenden Strahlen gebildet ist.

Unter solchen Umständen kann es einem Beobachter wohl gelingen, sein Auge in das Bereich der aus einem Auge kommenden Strahlen zu bringen, ohne die Lichtquelle zu verdecken. Dann wird er das beobachtete Auge auch leuchten sehen. Dies kommt vor, wenn wir z. B. einen an Star Operierten nach dem hellen Himmel schauen lassen, und uns, in einiger Entfernung von ihm, so stellen, dass der Schatten unseres Kopfes gerade neben seine Pupille fällt. Der Linse beraubt, ist ein Auge gewöhnlich stark hypermetropisch. Die Lage unseres Schattens zur Pupille beweist, dass wir uns den einfallenden Strahlen gerade nahe genug gebracht haben, um sie nicht abzublenden, und andererseits tief genug in dem Kegel der ausfallenden Strahlen stehen, um von denselben eine möglichst große Zahl in unser Auge aufzunehmen.

Dieselbe Erscheinung kann man bei allen hochgradig hypermetropischen Augen beobachten, ob die Ametropie durch Schwächung des brechenden Systems oder durch Verkürzung der Augenachse zu stande gekommen sei. So leuchten Augen, deren Netzhaut aus irgend welchem Grunde nach vorn gedrängt ist (Ablatio retinae, intraokulare Geschwülste). Die Augen mancher Tiere sieht man leuchten, weil sie hypermetropisch sind, und wenn es die dazu nötigen Umstände gestatten. Dazu gehört einmal, wie in dem ersten Beispiele, dass die Lichtquelle sich hinter und etwas neben dem Kopfe des Beobachters befinde, das Auge des Tieres nach derselben blicke, und außerdem möglichstes Dunkel den Kontrast zwischen dem aus der Pupille kommenden Lichte und der allgemeinen Beleuchtung erhöhe. Dass der Reflex eines glänzenden Tapetum das Augenleuchten bedeutend verstärkt, versteht sich von selbst.

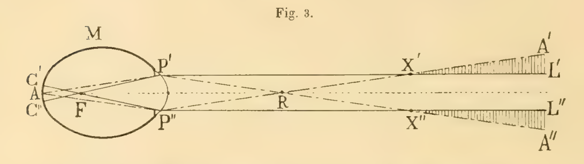
Eine besondere Art von Hypermetropie erzeugt man, wenn man ein Auge unter Wasser taucht. Da Humor aqueus und Wasser ungefähr denselben Brechungsindex besitzen, so fällt unter diesen Umständen der Einfluss der Hornhaut weg, und wird die ebene Oberfläche des Wassers zur Trennungsfläche zwischen der Luft und dem dioptrischen Systeme des Auges. Steht die Lichtquelle günstig, so kann auf diese Weise, wie schon La Hire beobachtet hat, ein Auge zum Leuchten gebracht werden.

Aber auch Myopie, oder, besser gesagt, das der Hypermetropie entgegengesetzte Verhältnis der Entfernung der Lichtquelle zur Lage der Netzhaut, kann dazu führen:

Es sei z. B. (Fig. 3) das Auge M auf den Punkt R eingestellt, mit anderen Worten: R sei der zu dem auf der Netzhaut liegenden Punkte A konjugierte

Brennpunkt. In dies Auge dringt ein paralleles Strahlenbündel $L' P' L'' P''$. Diese Strahlen kommen notwendigerweise vor der Netzhaut, in F, zur Vereinigung, und gehen nachher divergierend gegen C' und C'' auseinander. Auf der Netzhaut entsteht ein Lichtkreis, dessen Durchmesser $C' C''$ ist.

Fig. 3.



Der Punkt A ist also beleuchtet. Die von ihm ausgehenden Strahlen konvergieren in R, und verlassen in X' und X'' das Bündel der parallelen Beleuchtungsstrahlen, mit dem sie sich kreuzen. Ein Auge also, dem es gelingt, sich in den Bezirk $A' X' L'$ oder $A'' X'' L''$ zu begeben, wird Licht aus dem untersuchten Auge erhalten und dessen Pupille leuchten sehen.

Auf diese Weise aber gelingt es doch nur höchst selten, die Gegenstände des Augengrundes deutlich zu erkennen. Wie aus unseren Figuren schon erhellt, muss man sich, um das Licht der Peripherie des austretenden Strahlenbündels aufzufangen, weit von dem beobachteten Auge aufstellen. Damit wird aber das zu überschauende Feld der Enge der Pupille wegen äußerst klein. Außerdem ist es eben immerhin nur ein kleiner Teil des vom Augengrunde kommenden Lichtes, das man so in sein eigenes Auge leiten kann. Das davon erzeugte Bild wird also jedenfalls sehr lichtschwach [1].

Alle diese und andere ähnliche Verhältnisse, unter welchen man die Pupille eines Auges leuchten sehen kann, genügen denn auch bei weitem nicht, den Augengrund zu untersuchen. Dazu bedarf man der Methode, die uns Helmholtz gelehrt, des Instrumentes, das er uns geschaffen, des Augenspiegels.

Da nun der Spiegel den Hauptbestandteil des Ophthalmoskopes bildet, so ist es wohl angezeigt, hier die Gesetze der Katoptrik in Kürze zu

1) Das Leuchten albinotischer Augen gehört nicht hierher. Man sieht durch deren Pupille in die Tiefe des Auges, weil das Beleuchtungslicht nicht nur durch die Pupille, sondern auch durch Iris und Chorioidea in das Augeninnere dringt. Schützt man das Auge gegen dies seitlich einfallende Licht durch einen Schirm, der nur die Pupillaröffnung frei lässt, so erscheint auch die Pupille des albinotischen Auges schwarz. Dies ist ein Beweis — wenn es dessen bedürfte — dass nicht die Absorption des Lichtes durch das Retinal- und Chorioidealpigment schuld an der Schwärze der Pupille ist.

rekapitulieren, welche bei der Konstruktion und Anwendung des Augenspiegels hauptsächlich in Betracht kommen.

§ 4. Zwei Grundgesetze beherrschen die ganze Lehre von der Zurückwerfung, der Reflexion des Lichtes, oder Katoptrik:

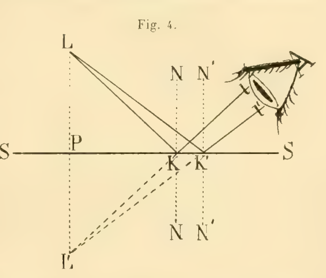
1. Der auffallende, sowie der zurückgeworfene Strahl liegt in einer Ebene mit dem Einfallslote (d. h. mit der in dem Punkte, wo der auffallende Strahl die Spiegelfläche trifft, zu derselben errichteten Senkrechten).

2. Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Die spiegelnde Fläche (der Katopter) kann eben oder gewölbt sein.

Betrachten wir erst den Planspiegel. Sei SS (Fig. 4) eine ebene spiegelnde Fläche, L ein Lichtpunkt. Einer der von demselben ausgehenden Strahlen trifft die Fläche in K und wird, unter gleichem Winkel mit dem Einfallslote NN, nach A hin zurückgeworfen ($\angle LKN = \angle NKA$). Dasselbe geschieht mit dem Strahle LK': Er geht in der Richtung $L'A'$ weiter, unter gleichem Winkel mit dem Lote $N'N'$. Einem in A befindlichen Auge werden die beiden Strahlen von dem Punkte L' herzukommen scheinen, wo sie, rückwärts verlängert, zusammentreffen würden. Es ist leicht einzusehen, dass der Punkt L' gerade soweit hinter dem Spiegel liegt als L vor demselben. In der That lässt sich das Spiegelbild eines Lichtpunktes auch einfach so konstruieren, dass man von demselben aus eine Senkrechte (LPL') durch die spiegelnde Fläche zieht und darauf die Strecke $PL' = LP$ abträgt.

Fig. 4.

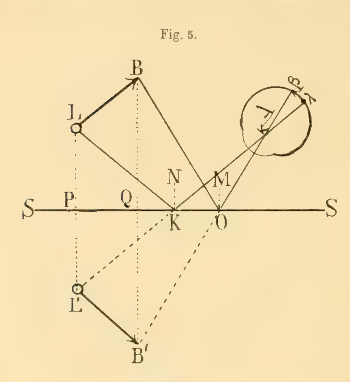


Nehmen wir, statt eines einzigen Punktes, ein geradliniges Objekt LB (Fig. 5), so finden wir für den Endpunkt B das Spiegelbild B' mittelst der Senkrechten BQ, wie L' für L. Verbinden wir L' mit B', so haben wir in $L'B'$ das Bild des Objektes, wie es dem in den Spiegel blickenden Auge A erscheint.

Das von einem Planspiegel gelieferte Bild ist also, wie aus dessen Konstruktion hervorgeht, virtuell, gleichgroß wie das Objekt, und zu demselben symmetrisch.

Der Verlauf der von LB ausgegangenen Lichtstrahlen bis sie im Grunde des Auges A zur Vereinigung kommen wäre folgender (Fig. 5): Ein von L kommender Strahl LK wird in K nach dem Knotenpunkte k reflektiert ($LKN = NKk$) und geht geradlinig weiter bis λ, wo sein Netzhautbild entsteht, falls das Auge für die Entfernung kL' eingestellt ist. Dasselbe geschieht mit dem von B ausgegangenen Strahle BOk ($\angle BOM = \angle MOk$), dessen Netzhautbild β darstellt.

Fig. 5.



Die eben betrachteten Lichtstrahlen waren divergent, d. h. sie kamen von in endlicher Entfernung liegenden Punkten her. Wie wir gesehen, gehen dieselben nach ihrer Reflexion am Planspiegel gleich divergent, nur in anderer Richtung weiter.

Liegt der leuchtende Punkt in unendlich, d. h. treffen die von ihm ausgegangenen Strahlen parallel auf den Planspiegel, so werden sie, wie leicht einzusehen, auch wieder parallel reflektiert, d. h. so als kämen sie von einem hinter demselben gelegenen, unendlich weit entfernten Punkte her. — Denken wir uns den Punkt L der Fig. 4 in der Richtung KL in die Unendlichkeit hinausgerückt, so rückt auch sein Spiegelbild L' ins Unendliche. Die einfallenden Strahlen LK, LK' und alle Strahlen, die man noch weiter zeichnen wollte, werden einander parallel.

Die Einfallswinkel LKN, $LK'N'$ u. s. w., und folglich auch die Reflexionswinkel NKl, $N'K'l'$ u. s. w. werden einander gleich und die reflektierten Strahlen einander parallel, wie es die einfallenden sind.

Die auffallenden Strahlen können auch konvergent sein. — Dies ist der Fall, wenn man z. B. zwischen die Lichtquelle und den Spiegel eine Konvexlinse bringt, die von der ersteren um mehr als ihre Brennweite entfernt ist (Fig. 6). In diesem Falle gehen die Strahlen, nach ihrer Reflexion, konvergent weiter, nur in anderer Richtung. Sie vereinigen sich, statt in dem Punkte M, wo sie ohne den Spiegel zusammengetroffen wären, in dem Punkte L', der das Bild des Objektes L darstellt.

Sei f die Brennweite der Konvexlinse, a die Entfernung LX des Objektes von derselben, so findet man die Entfernung $XM = b$ nach der bekannten Formel:

$$b = \frac{af}{a - f}.$$

Fig. 6.

Bezeichnet man die Entfernung XS der Konvexlinse vom Spiegel mit c, so ist die Höhe $SL' = SM$ des das Auge treffenden Strahlenkegels

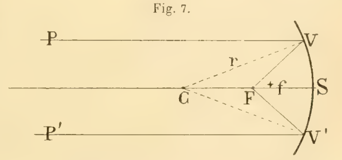
$$h = b - c.$$

Auf diesem Prinzipe beruht der Augenspiegel von Coccius (14).

Hohl- oder Konkavspiegel.

§ 5. Hohlspiegel reflektieren parallele Strahlen nach einem Punkte, den man den Hauptbrennpunkt des Spiegels nennt. Derselbe (F Fig. 7) liegt in der Mitte zwischen dem Krümmungscentrum C und der Oberfläche S des Spiegels.

Fig. 7.



Bezeichnen wir den Krümmungshalbmesser des Spiegels CS oder CV, mit r, FS, die Brennweite, mit f, so ist

$$f = \frac{r}{2}$$ [1].

Der Brennpunkt des Konkavspiegels ist positiv, da er der wirklichen Vereinigung der Lichtstrahlen entspricht.

Tritt der leuchtende Punkt aus der Unendlichkeit dem Spiegel näher (L in Fig. 8), so dass er divergente Strahlen entsendet, so findet man den

[1] Diese, wie alle kommenden Formeln, haben Gültigkeit nur für Strahlen, welche nicht allzuweit von der Hauptachse CS auf den sphärischen Spiegel fallen.

Ort des ihm konjugierten Brennpunktes L', resp. des von dem Konkavspiegel gelieferten Bildes von L, mit Hilfe der Grundformel für die konjugierten Brennweiten sphärischer Spiegel:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}\ ^{1)}.$$

Daraus folgt:

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a},$$

und

$$b = \frac{a-f}{af}.$$

In diesen Formeln bezeichnet a die Entfernung des Objektes, b die des Bildes von der Spiegelfläche, f deren Brennweite.

Was die Entfernung des leuchtenden resp. Objektpunktes von der Spiegelfläche anbelangt, so kommen dabei fünf verschiedene Fälle in Betracht.

1. Das Objekt ist um mehr als die Brennweite vom Spiegel entfernt (a größer als f) (Fig. 8). Dann wird $\frac{1}{a}$ in obiger Formel geringer als $\frac{1}{f}$, also $\frac{1}{f} - \frac{1}{a}$ und somit auch $\frac{1}{b}$, ein positiver Wert. Das heißt: das Bild ist ein positives, gebildet durch das wirkliche Zusammentreffen der Lichtstrahlen.

Fig. 8.

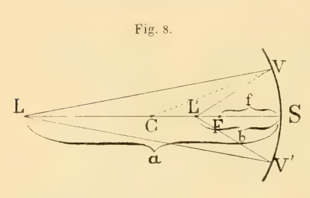
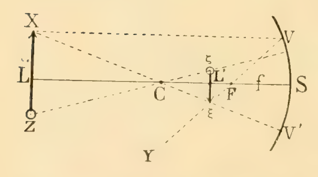


Fig. 10.



2. Das Objekt steht im Centrum C des Konvexspiegels. Dann ist seine Entfernung a von demselben $= 2f$, also

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{2f} = \frac{1}{2f},$$

also auch $b = 2f$. Das heißt: Bild und Objekt fallen im Krümmungscentrum des Spiegels zusammen. In der That sind alle, vom Centrum ausgehenden Lichtstrahlen, Radien, und stehen somit senkrecht zu der Spiegelfläche. Sie gehen also auf demselben Wege, wie sie gekommen, wieder nach dem Centrum zurück.

1 Man beachte die Übereinstimmung der Formel für Konkavspiegel mit derjenigen für Konvexlinsen.

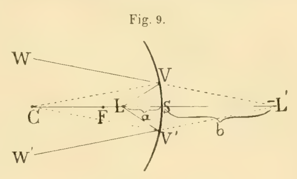
3. Steht das Objekt zwischen dem Centrum und dem Brennpunkte, auf der Strecke CF (Fig. 8), d. h. ist a kleiner als $2f$, aber größer als f, so haben wir wieder den durch Fig. 8 versinnlichten Fall; nur ist diesmal L' das Objekt, L das Bild. Letzteres liegt also weiter von der spiegelnden Fläche entfernt als das Objekt, jedoch noch in positiver Entfernung. In der That bleibt in der Formel

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a},$$

wo diesmal $b = LS$, $a = L'S$, der rechts vom Gleichungszeichen liegende Ausdruck positiv, doch wird der Nenner des Bruches größer als a.

4. Steht das Objekt im Brennpunkte F des Konkavspiegels, so werden die davon ausgehenden Strahlen untereinander parallel reflektiert; bildet doch der Brennpunkt den Vereinigungspunkt parallel auffallender Strahlen, und müssen folglich die von ihm ausgehenden Strahlen, nach ihrer Reflexion, parallel weitergehen. In diesem Falle nimmt die Formel folgende Form an:

Fig. 9.

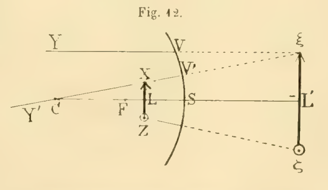


$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f} = 0,$$

also $b = \infty$.

5. Steht endlich das Objekt zwischen dem Brennpunkte und dem Konkavspiegel (Fig. 9), ist $LS = a$ kleiner als $FS = f$, so wird der Ausdruck für $\frac{1}{b}$, d. h. $\frac{1}{f} - \frac{1}{a}$, und demnach auch b negativ, d. h. das Spiegelbild $-L'$ ist nicht mehr reell. Es entspricht nur den nach rückwärts, hinter den Spiegel verlängerten, in Wirklichkeit divergent auseinandergehenden Strahlen. Die reflektierten Strahlen verfolgen, in der That, den Weg LVW und $LV'W'$ (Fig. 9).

Fig. 12.



Fassen wir das eben Besprochene zusammen, so können wir sagen:

Solange das Objekt weiter vom Spiegel entfernt ist, als der Brennpunkt, ist sein Bild ein reelles.

Steht das Objekt jenseits des Krümmungscentrums, so fällt das Bild in die Strecke (CF), zwischen diesen und den Brennpunkt.

Befindet sich das Objekt zwischen Centrum und Brennpunkt, so liegt das Bild jenseits des Centrums und entfernt sich von demselben um so rascher, je näher das Objekt dem Brennpunkte rückt, da vom Brennpunkte selbst ausgehende Strahlen parallel in die Unendlichkeit zielen.

Steht endlich das Objekt zwischen dem Brennpunkte und der konkaven Spiegelfläche, so werden die davon ausgehenden Strahlen divergent reflektiert.

Der Verlauf der auf einen Konkavspiegel treffenden Lichtstrahlen lässt sich sehr leicht konstruieren.

Zieht man z. B. (Fig. 8) von einem auf der Achse liegenden Objektpunkte L eine Gerade nach irgend einem Punkte V der Spiegelfläche, so braucht man durch denselben Punkt V nur den Radius CV zu legen und auf der anderen Seite desselben den dem Winkel CVL gleichen Winkel $L'VC$ abzutragen, um im Schnittpunkte seines Schenkels VL' mit der Achse, den Bildpunkt L' zu finden.

Ganz analog verfährt man bei jeder anderen Entfernung des Lichtpunktes von der Spiegelfläche. So haben wir z. B. in Fig. 9 den Winkel CVW gleich dem Winkel LVC gemacht, um durch Verlängerung seines Schenkels WV den Bildpunkt L' zu finden.

Es giebt aber noch eine andere Art der Konstruktion, bei welcher, außer der Entfernung des Bildes vom Spiegel, zugleich auch die Größenverhältnisse zwischen Objekt und Bild sehr anschaulich zu Tage treten.

Sei (Fig. 10) XZ ein Objekt. (Die anderen Punkte behalten die in den bisherigen Figuren angenommene Bedeutung.) Von den unendlich vielen, in allen Richtungen vom Endpunkte X des Objektes ausgehenden Strahlen betrachten wir den der Achse LS parallelen Strahl XV. Er geht nach der Reflexion, durch den Brennpunkt F, also in der Richtung VY weiter.

Ein anderer von X kommender Strahl XCV' geht durch das Krümmungscentrum des Konkavspiegels und, nach seiner Reflexion in V', auf demselben Wege wieder zurück. Der Punkt ξ, wo die beiden von X stammenden Strahlen sich schneiden, ist offenbar das Bild dieses Punktes X. Alle von X ausgehenden Strahlen kommen da zur Vereinigung.

Ziehen wir von ξ eine Senkrechte auf die Achse, so finden wir in L' das Bild von L.

Erstreckt sich das Objekt auf der anderen Seite der Achse weiter, z. B. bis Z, so brauchen wir einfach $\xi L'$ zu verlängern, um in ζ, wo sich diese Linie mit dem durch das Centrum C gehenden Strahle ZC schneidet, das Bild des Punktes Z zu finden.

Steht ein Objekt CX (Fig. 11) im Centrum C des Spiegels, so wissen wir, dass sein Bild in gleicher Entfernung von der spiegelnden Fläche zu stande kommt, und zwar das des Punktes C im Centrum selbst.

Das Bild des Punktes X finden wir wiederum mit dem zur Achse parallelen Strahle XV, welcher nach der Reflexion durch F geht. — In ξ, wo die in C zur Achse Senkrechte den Strahl VY schneidet, liegt das Bild von X. $C\xi$ ist offenbar gleich CX, insofern wir einen so kleinen Teil der Spiegelfläche benutzen, dass XV und CS als gleich betrachtet werden können.

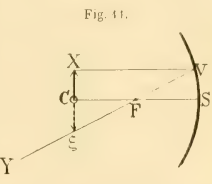


Fig. 11.

Befindet sich das Objekt zwischen dem Centrum und dem Brennpunkte, so findet gerade das Umgekehrte statt wie in dem vorletzten Beispiele (Fig. 10). $\xi\zeta$ ist dann das Objekt, XZ dessen Bild. Die Konstruktion desselben ergiebt sich aus den von ξ einerseits durch den Brennpunkt (ξFV), andererseits durch das Spiegelcentrum ($V\xi CX$) gezogenen Strahlen.

Steht das Objekt XZ (Fig. 12) zwischen dem Brennpunkte (F) und dem Spiegel (S), so ziehen wir erst den Strahl XV, welcher die Richtung hat, als käme er vom Brennpunkte F her. Er geht, nach seiner Reflexion in V, der Achse parallel gegen Y.

Ein anderer Strahl XV' trifft die Spiegelfläche in V' in der Richtung eines Radius CXV'. Er geht also auf gleichem, jedoch umgekehrten Wege $V'XC$, wieder zurück. Da sich die zwei Strahlen VY und $V'Y'$ nirgends vereinen, so kommt auch von X kein reelles Bild zu stande, dasselbe ist ein virtuelles und entspricht dem Punkte ξ, wo die Strahlen YV und $Y'V'$, rückwärts verlängert, sich schneiden.

Kennt man die Lage des Bildes des Punktes X, so ergiebt sich die des Bildes irgend eines anderen Punktes Z desselben Objektes, in einfacher Weise, mit Hilfe der zur Achse Senkrechten $L\zeta$, und des durch das Centrum C gehenden Richtungsstrahles CZ.

Aus unseren Figuren ist leicht zu ersehen, dass, solange das Objekt weiter vom Spiegel entfernt ist als dessen Brennpunkt, das Bild ein reelles und umgekehrtes ist (Fig. 10).

Steht das Objekt jenseits des Centrums, so ist das Bild kleiner, steht es zwischen Centrum und Brennpunkt, größer als das Objekt.

Im Krümmungscentrum selbst (Fig. 11) haben Objekt und Bild gleiche Größe.

Befindet sich das Objekt im Brennpunkte, so ist sein, in der Unendlichkeit liegendes Bild unendlich groß.

Steht das Objekt zwischen dem Brennpunkte und der konkaven Spiegelfläche (Fig. 12), so ist das Bild virtuell, dem Objekte gleich gerichtet, und größer als dasselbe; letzteres umsomehr, je näher das Objekt dem Spiegel steht.

Was die Größenverhältnisse von Objekt und Bild anbelangt, so gilt für Konkavspiegel folgende Formel:

$$i = \frac{o \cdot f}{a - f},$$

worin

i die Größe des Bildes,
o die Größe des Objektes,
a die Entfernung des Objektes von der Spiegelfläche,
f die Brennweite derselben ist.

In der Praxis ist es wichtig, die Brennweite eines Konkavspiegels bestimmen zu können. Dies lässt sich auf verschiedene Weise bewerkstelligen.

Hat man die Sonne oder ein anderes sehr weit entferntes, leuchtendes Objekt zur Verfügung, so sucht man mit einem Schirme den Ort auf, wo dessen Bild am deutlichsten ist, und misst die Entfernung desselben vom Spiegel. Diese Entfernung ist die Brennweite des Hohlspiegels.

Oder man sucht die Entfernung auf, in welcher Objekt und Bild genau dieselbe Größe haben. Dies findet statt, wenn das Objekt im Krümmungscentrum des Spiegels steht. Die so gefundene Entfernung ist also gleich der doppelten Brennweite des Spiegels. In der That, setzen wir in der Formel für die Bildgröße $i = o$, so wird

$$a = 2f.$$

Allerdings kommt in diesem Falle das Bild am Orte des Objektes selbst zu stande und könnte sich unter Umständen mit demselben völlig decken. Es ist aber nicht schwer, den Spiegel so zu halten, dass das Bild gerade neben, oder in die Verlängerung des Objektes zu stehen kommt (Fig. 11), wobei dann die Vergleichung der Größe von Bild und Objekt nur um so leichter wird.

Man braucht also einfach in einem dunkeln Raume ein Blatt weißes Papier neben eine scharf begrenzte Lichtquelle zu halten, und den Konkavspiegel so weit zu entfernen, bis das Bild der Flamme möglichst genau auf dem Papier erscheint. Die so gefundene Entfernung ist dann doppelt so groß als die gesuchte Brennweite.

Man kann auch das Objekt in beliebiger Entfernung vom Hohlspiegel lassen, die Größe des Bildes und seine Entfernung vom Spiegel messen, und aus diesen drei Größen, mit Hilfe der Formel

$$f = \frac{a\,i}{o - i},$$

die Brennweite des Konkavspiegels berechnen.

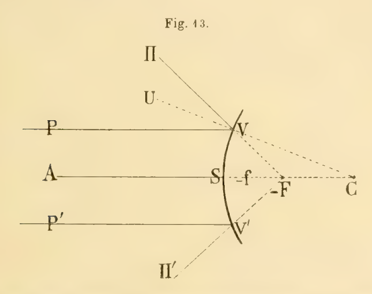
Konvexspiegel.

§ 6. Konvexspiegel werden zur Ophthalmoskopie nur selten mehr verwendet. Sie haben aber in der Augenheilkunde nichtsdestoweniger eine große Bedeutung, und zwar hauptsächlich deswegen, weil man die spiegelnden — katoptrischen — Eigenschaften der konvexen brechenden Flächen des Auges zur Bestimmung der Form derselben benutzt. Wir dürfen hier also wohl im Anschlusse an die Konkavspiegel den konvexen einige Worte widmen, umsomehr, als die Prinzipien der Reflexion derselben denjenigen der Konkavspiegel ganz analog sind.

Konvexspiegel reflektieren Strahlen, mögen sie aus unendlicher oder endlicher Entfernung kommen, d. h. seien sie parallel oder divergent, immer divergent, und zwar umsomehr, je divergenter sie auf dieselben treffen.

Der Brennpunkt des Konvexspiegels ist also kein reeller Punkt, kein reelles Bild des in unendlich liegenden leuchtenden Punktes, sondern nur der Schnittpunkt der rückwärts verlängerten Strahlen, welche vor ihrem Auftreffen auf den Spiegel parallel waren. So ist denn auch die Brennweite f für Konvexspiegel eine negative Größe.

Fig. 13.



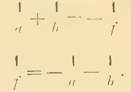
Der nach dem Centrum C gerichtete Achsenstrahl AS (Fig. 13) wird, da er senkrecht auf die spiegelnde Fläche trifft, mit sich selbst zusammenfallend, in der Richtung SA reflektiert. Der der Achse ASC parallele Strahl PV wird an der konvexen Spiegelfläche in V zurückgeworfen, unter einem Winkel $PVII$, den der Radius CV halbiert ($\angle PVU = \angle UVII$). Der reflektierte Strahl V, rückwärts verlängert, schneidet die Achse, resp. den rückwärts verlängerten Achsenstrahl AC, in F, und bezeichnet daselbst den negativen Fernpunkt $-F$ des Konvexspiegels.

Dasselbe findet statt für den Strahl $P'V'$. Er geht in der Richtung $V'II'$

weiter, und seine Verlängerung trifft in $-F$ mit dem verlängerten Strahle ASF zusammen.

Wie beim Konkavspiegel, so liegt auch beim Konvexspiegel der Brennpunkt F ungefähr in der Mitte des Radius $\left(f = \frac{r}{2}\right)$.

Die Grundformel der sphärischen Spiegel nimmt für die Konvexspiegel folgende Form an:



$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$$

oder

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{a} - \frac{1}{b}.$$

Fig. 14.

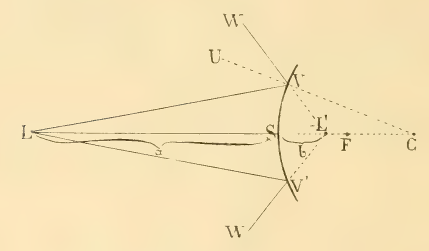
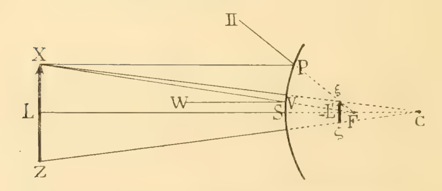


Fig. 15.



Für die Entfernung b des dem Objektpunkte a konjugierten Bildpunktes, erhalten wir also folgenden Ausdruck:

$$\frac{1}{b} = -\frac{1}{f} - \frac{1}{a}.$$

$\frac{1}{b}$ und somit auch b ist also immer negativ, solange a positiv ist, d. h. solange sich das Objekt vor dem Spiegel befindet.

Dies erhellt auch aus Fig. 14, wo $LS = a$, $L'S = b$, LV der unter dem Winkel LVC einfallende, VW der unter gleichem Winkel CVW mit dem Radius CV reflektierte, nach L' rückwärts verlängerte Strahl ist.

Es ist leicht einzusehen, dass, mit Abnahme der Strecke a, d. h. mit dem Heranrücken des Lichtpunktes an die Spiegelfläche, auch b abnimmt, d. h. dessen Bild sich derselben nähert.

Ferner geht aus der Figur hervor, dass, nur wenn der Objektpunkt hinter der Spiegelfläche, z. B. in L' liegt, d. h. von konvergierenden Strahlen (WV, LS und $W'V'$) gebildet wird, mit anderen Worten negativ ist, der Konvexspiegel ein positives Bild (L) liefern kann. In diesem Falle ist also die Entfernung des Objektes von der Spiegelfläche $L'S$, diesmal unser a, negativ, und wird LS, diesmal unser b, wie eben bemerkt, positiv.

Die Lage und Größe des von einem Konvexspiegel gelieferten Bildes lässt sich in folgender einfacher Weise konstruieren (Fig. 15):

Von dem Punkte X des Objektes XZ ziehen wir erst den der Achse LSC parallelen Strahl XP. Er geht nach H weiter, als ob er vom Brennpunkte F herkäme. — Auf der Linie FP muss das virtuelle Bild von X liegen. Bestimmt wird sein Ort durch den Strahl XC, der nach dem Krümmungscentrum C zielt und in ξ die Linie FP schneidet. Damit ist das virtuelle Bild des Punktes X gefunden.

Zur Kontrolle kann man auch noch einen dritten, von X ausgehenden Strahl verwerten, nämlich denjenigen, der nach dem Brennpunkte F gerichtet ist. Er trifft die spiegelnde Fläche in V und wird dort, der Achse parallel, in der Richtung VW reflektiert. Rückwärts verlängert, geht er ebenfalls durch den Bildpunkt ξ.

Ist ξ gefunden, so findet man L', das Bild von L, indem man von ξ auf die Hauptachse ein Perpendikel fällt, und ζ, das Bild von Z, indem man diese Vertikale bis zu ihrem Schnittpunkte mit dem Richtungsstrahle ZC verlängert.

Das Gesagte — und Gezeichnete — genügt um einzusehen, dass: Wo immer das Objekt stehe (vorausgesetzt, dass es ein reelles ist), das Bild immer virtuell, aufrecht (d. h. dem Objekte gleich gerichtet) und kleiner ist, als das Objekt. Außerdem liegt es hinter dem Spiegel demselben immer näher als das Objekt, und zwar in dem Raume SF, zwischen Spiegelfläche und Brennpunkt.

Rückt das Objekt der Spiegelfläche sehr nahe, so wird das Bild verzerrt, weil die den verschiedenen Punkten desselben entsprechenden Einfallswinkel untereinander zu verschieden werden.

Was die Größenverhältnisse von Bild und Objekt anbelangt, so gilt für den Konvexspiegel folgende Formel:

$$i = \frac{of}{a + f},$$

wo o wiederum die Größe des Objektes, a die Entfernung des Objektes von der Spiegelfläche bedeutet.

Diese Formel dient auch dazu, die Brennweite eines Konvexspiegels zu berechnen. Direkt messen lässt sich dieselbe nicht, eben weil sie negativ ist. Man muss also die Größe des Objektes, die Entfernung desselben von der Spiegelfläche und die Größe des Spiegelbildes messen, um damit, nach dem aus obiger Formel abgeleiteten Ausdrucke

$$f = \frac{ai}{o - i}$$

die negative Brennweite des Konvexspiegels zu finden.

Außer planen, konkaven und konvexen Spiegeln, hat man auch bikonkave und bikonvexe Linsen, negative und positive Menisken zur ophthalmoskopischen Beleuchtung des Auges verwendet. Die eine Oberfläche dieser Linsen wurde bis auf eine kleine centrale Stelle belegt, um als Reflektor zu dienen, während zu gleicher Zeit auch die dioptrische Kraft derselben sollte nutzbar gemacht werden: von Jäger, Klaunig, von Burow, von Hasner, Lawrence u. a. haben derartige Augenspiegel konstruiert. Dieselben haben sich aber als nicht sehr praktisch erwiesen, und sind kaum mehr im Gebrauche. Haben wir in der ersten Auflage dieses Werkes der Theorie dieser sogenannten heterocentrischen centrierten Spiegel einen ganzen Paragraphen gewidmet, so glauben wir heute den Raum dieses Buches und die nicht minder wertvolle Zeit unserer Leser nicht mehr dafür in Anspruch nehmen zu dürfen. Wir begnügen uns deshalb hier damit, auf die Arbeit von Professor von Zehender zu verweisen, welcher, im zweiten Bande (Teil 2, S. 103) des von Graefe'schen Archives, diesen Gegenstand sehr gründlich behandelt hat.

Das Zustandekommen des ophthalmoskopischen Bildes.

§ 7. Wir kennen nun die Mittel und Wege, den Augengrund zu beleuchten und von der beleuchteten Stelle Licht zu erhalten, ohne den Gang des Beleuchtungslichtes zu beeinträchtigen.

Fragen wir uns nun, in welcher Weise es dem beobachtenden Auge gelingt, den Grund des untersuchten Auges deutlich zu sehen, mit anderen Worten, von demselben ein scharfes Netzhautbild zu erhalten. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen.

1. Die vom Grunde des untersuchten Auges kommenden Strahlen verlassen dasselbe parallel, divergent oder konvergent, je nach dem

Refraktionszustande dieses Auges. Ist der Beobachter für solche Strahlen eingestellt und steht sein Auge dem des Untersuchten nahe genug, so vereinigen sich diese Strahlen auf seiner Netzhaut, und es kommt auf derselben, vom Grunde des untersuchten Auges, ein scharfes, reelles und selbstverständlich umgekehrtes Bild zu stande. Dieses in Bezug auf sein Objekt umgekehrte Netzhautbild wird nach außen projiziert und zwar, wie das Bild jedes Objektes, wieder umgekehrt, d. h. aufrecht, in der Stellung, welche das Objekt wirklich hat. Deshalb bezeichnet man diese Art der Untersuchung des Augengrundes mit dem Namen der Untersuchung im aufrechten Bilde.

2. Ist dagegen das untersuchte Auge, infolge seines Refraktions- oder Akkommodationszustandes, oder einer ihm beigefügten Konvexlinse, auf einen zwischen ihm und dem beobachtenden Auge gelegenen Punkt eingestellt, so kommt das umgekehrte reelle Bild seines Grundes eben in diesem Punkte zu stande, und wird von dem Beobachter so gesehen wie es ist, d. h. umgekehrt. Diese Art der Augenspiegeluntersuchung trägt denn auch den Namen der Untersuchung im umgekehrten Bilde.

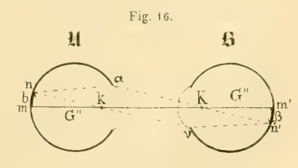
Betrachten wir nun eingehend den Strahlengang in diesen beiden Fällen, wie es zum Verständnisse der Ophthalmoskopie, und der vielen sich daran schließenden, wichtigen Fragen unerlässlich ist.

I. Das aufrechte Bild.

§ 8. Da der Normalzustand des Auges die Emmetropie ist, so legen wir den folgenden Erörterungen immer ein emmetropisches beobachtendes Auge zu Grunde. Die Betrachtung der verschiedenen Refraktionszustände des untersuchten Auges wird uns schon weit genug führen.

A. Das untersuchte Auge sei emmetropisch. —

Fig. 16.



Sei 𝔘 (Fig. 16) ein zu untersuchendes emmetropisches Auge, 𝔅 das ebenfalls emmetropische Auge des Beobachters, *mn* ein Objekt des untersuchten Augengrundes, beleuchtet mit dem Augenspiegel. Die von je einem Punkte des Objektes herkommenden Strahlen sind, nach ihrem Austritte aus dem Auge, unter sich parallel, und ihre Richtung ist angegeben durch den Strahl, welcher durch den Knotenpunkt *k* dieses Auges geht, weil er das Auge verlässt ohne abgelenkt zu werden.

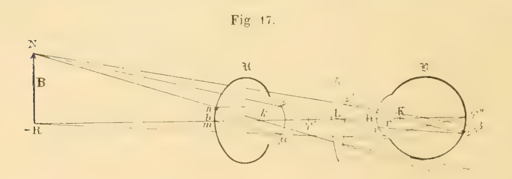
Diese parallelen Strahlen wird das emmetropische Auge des Beobachters, dank seiner Refraktion, auf seiner Netzhaut zu scharfen Bildern vereinen. Den Ort derselben findet man mit Hilfe des Richtungsstrahles, welcher ungebrochen durch den Knotenpunkt K dieses Auges geht.

So sind z. B die dem Punkte n entsprungenen Strahlen, nachdem sie das Auge 𝔘 verlassen haben, parallel dem Richtungsstrahle nkr. Einer davon, na, ist, nach seiner Brechung an der Hornhaut, nach dem Knotenpunkte K des Auges 𝔅 gerichtet, und bezeichnet auf dessen Netzhaut in n' den Punkt, wo alle von n ausgegangenen, in die Pupille von 𝔅 gedrungenen Strahlen zur Vereinigung kommen. Dahin gelangt z. B. auch der Strahl nr. — Dasselbe geschieht mit den von m kommenden Strahlen. Dieser Punkt liegt auf der Hauptachse des Auges 𝔘, die mit der Hauptachse des Auges 𝔅 zusammenfällt. Dieser Achse $mkKm'$ parallel, verlassen die von m ausgegangenen Strahlen das Auge 𝔘. So treffen sie auf das Auge 𝔅 und werden also, auf der Netzhaut des letzteren, in dem der Achse angehörenden Punkte m' vereinigt. — $n'm'$ ist also das Netzhautbild des Objektes nm. — Es ist in Bezug auf sein Objekt umgekehrt, wird aber, wie die umgekehrten Bilder aller Objekte, aufrecht und nach außen projiziert, d. h. 𝔅 sieht die Objekte des Grundes des Auges 𝔘 in ihrer wirklichen Lage.

B. Das untersuchte Auge ist hypermetropisch.

Das untersuchte Auge 𝔘 (Fig. 17) sei hypermetropisch und nm ein Objekt seiner Netzhaut. Die Strahlen, welche von den verschiedenen Punkten dieses

Fig 17.



Objektes ausgehen, verlassen das Auge divergent, als kämen sie von einem, im Abstande seines Fernpunktes $-R$, hinter demselben gelegenen Objekte her. — Von den dem Punkte m entsprungenen Strahlen geht einer ungebrochen durch den Knotenpunkt k. Ein anderer, mu, erfährt dagegen, bei seinem Austritt aus dem Auge, eine Ablenkung, als käme er von $-R$ her. In diesem Punkte $-R$ dem Punctum remotum würden sich alle von m ausgegangenen Strahlen, nach ihrem Austritt aus dem Auge rückwärts

verlängert, schneiden, resp. von diesem Punkte scheinen sie her zu kommen. — Dasselbe findet statt mit den vom Punkte n stammenden Strahlen. Einer derselben, nk, geht ungebrochen durch den Knotenpunkt weiter. Ein anderer, nr, dagegen erfährt, beim Verlassen des Auges, eine Ablenkung, als käme er von dem Punkte N her, der in der Entfernung des Fernpunktes hinter dem Auge liegt, und zwar da, wo sich die beiden, dem gleichen Punkte n angehörigen Strahlen knN und rN, rückwärts verlängert, schneiden. — Was mit den von m und den von n ausgegangenen Strahlen geschieht, geschieht in gleicher Weise mit den Strahlen, die dazwischenliegenden Punkten entstammen, und, ist $mn = b$ ein Objekt des Augengrundes, so ist $-RN = X$ das demselben entsprechende virtuelle Objekt. Dasselbe wird gebildet durch die rückwärts verlängert gedachten, dem Objekte b entsprungenen Lichtstrahlen; d. h. die vom Grunde des untersuchten Auges 𝔘 kommenden Strahlen treffen das beobachtende Auge 𝔅 so **divergent**, als kämen sie von einem Objekte RN her.

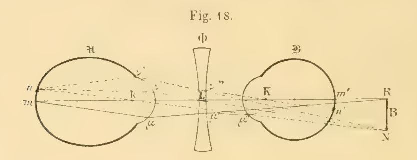
Solche Strahlen kann das emmetropische Auge im Ruhestande, wie wir uns dasselbe vorstellen, nicht vereinen. Es muss dieselben erst parallel machen, oder seinen Refraktionszustand so stark erhöhen, dass sein Einstellungspunkt mit dem Fernpunkte des untersuchten Auges zusammenfällt. Das Eine wie das Andere geschieht mit Hilfe des gleichen **Konvexglases**, dessen Wirkung sich nach beiden Anschauungsweisen erklären lässt. Halten wir uns für diesmal an die erstere, und suchen die Konvexlinse, welche die ursprünglich vom Augengrunde, in der That aber von dem virtuellen Objekte RN aus divergierenden Strahlen parallel macht. Zu diesem Zwecke muss offenbar der Brennpunkt der Linse mit dem Fernpunkte $-R$ des untersuchten Auges zusammenfallen. Steht die Linse in L (Fig. 17), so ist RL ihre Brennweite. Die von R kommenden Strahlen sind, nach ihrem Durchgang durch die Linse, untereinander und dem durch das optische Centrum L derselben gehenden Richtungsstrahle $RL\varphi''$ parallel. Solche parallele Strahlen vereinigt das beobachtende Auge auf seiner Netzhaut im Punkte φ'', wo der durch K gehende Richtungsstrahl, der mit dem durch k gehenden identisch ist, die Netzhaut trifft.

Dasselbe geschieht mit den vom Punkte N aus divergierenden Strahlen. Der Richtungsstrahl NrL geht ungebrochen weiter, bis er in x das beobachtende Auge trifft. Ihm sind alle von N divergierenden Strahlen, nach ihrem Durchgange durch die Linse L, parallel. Einer davon $r'K$ ist nach dem Knotenpunkte dieses Auges gerichtet, und bezeichnet in r'' den Ort, wo sich alle demselben Bündel angehörigen Strahlen vereinen. — r'' ist also das Bild von N, resp. von n, und $\varphi''r'' = \beta$ das Bild von X, resp. von B. — Auch dies Bild, obschon umgekehrt in Beziehung zu seinem Objekte, wird wieder **aufrecht** nach außen projiziert.

C. Das untersuchte Auge ist myopisch.

Ist das untersuchte Auge myopisch (II Fig. 18), so verlassen es die von seinem Grunde herkommenden Strahlen **konvergent**, bis sie sich, in der Entfernung seines **Punctum remotum** R, zu einem reellen umgekehrten Bilde vereinigen. So würden sich z. B. die dem Punkte m entsprungenen Strahlen im Fernpunkte R, die von n kommenden in N vereinen, und RN würde das reelle, umgekehrte Bild des Objektes mn darstellen. Bevor dies aber zu stande kommt, treffen die das untersuchte Auge verlassenden Strahlen das Auge 𝔅 des Beobachters. Sie dringen in dessen Pupille,

Fig. 18.



würden aber auf dessen Netzhaut kein scharfes Bild erzeugen, da derselbe nicht für konvergente, sondern nur für parallele Strahlen eingestellt ist.

Um die aus dem myopischen Auge konvergent austretenden Strahlen auf seiner Netzhaut zu vereinigen, muss sie der Beobachter parallel machen, oder seine eigene Refraktion so weit schwächen, dass vorher konvergente Strahlen doch erst auf seiner Netzhaut zur Vereinigung kommen. Wie man die Sache auch betrachten möge, so braucht man dazu ein **Konkavglas**. Fällt dessen Brennpunkt mit dem Fernpunkte R des myopischen Auges zusammen, so sind die von dessen Fundus kommenden Strahlen, nach ihrem Durchgange durch das Konkavglas, parallel und können also von dem emmetropischen Beobachter auf seiner Netzhaut vereinigt werden.

Sei Φ (Fig. 18) eine solche Linse und L ihr optisches Centrum. Ihr Brennpunkt muss mit R zusammenfallen, also ist LR ihre (negative) Brennweite. Der von m herkommende Strahl geht ungebrochen bis zur Netzhaut des Beobachters, weil er den Knotenpunkt k des untersuchten Auges, das optische Centrum der Linse L, und den Knotenpunkt K des beobachtenden Auges durchläuft. Ihm sind alle von m stammenden Strahlen, nach ihrem Durchgange durch die Linse Φ, parallel, z. B. der Strahl $\mu'\mu''$, welcher ebenfalls in m' die Netzhaut des Beobachters trifft. — Die von n nach N zielenden Strahlen sind, nach ihrem Durchgange durch die Linse Φ, dem Richtungsstrahle νLN parallel. Einer derselben, $\nu''K$, ist nach dem Knotenpunkte des beobachtenden Auges gerichtet, und sein Schnittpunkt mit dessen Netzhaut bezeichnet in n' den Ort, wo alle von n herkommenden,

erst nach N zielenden Strahlen vereinigt werden. — $m'n'$ ist also das Netzhautbild des Objektes mn, wiederum ein umgekehrtes Bild, das aufrecht nach außen projiziert wird.

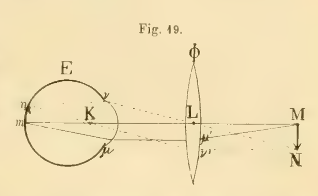
II. Das umgekehrte Bild.

§ 9. Statt die vom Grunde des untersuchten Auges kommenden Strahlen gleich auf unserer Netzhaut aufzufangen, können wir dieselben, mittelst einer Konvexlinse, erst zu einem reellen, umgekehrten Bilde vereinigen, und dies vor uns liegende Luftbild betrachten.

A. Das umgekehrte Bild des emmetropischen Auges.

Sei E (Fig. 19) ein emmetropisches Auge, mn ein Objekt seiner Netzhaut, Φ eine Konvexlinse. — Die vom Punkte m herkommenden und, nach ihrem Austritte aus dem Auge, dem Richtungsstrahle mk parallelen Strahlen, werden von der Linse in deren Brennpunkt M vereinigt.

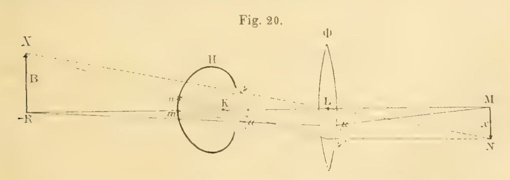
Fig. 19.



Desgleichen die von n ausgegangenen Strahlen. Sie sind, außerhalb des Auges, dem Richtungsstrahle nK parallel, werden aber durch die Linse ebenfalls vereinigt, und zwar um die Brennweite hinter derselben, in dem Punkte N, welcher dem ungebrochen durch das Centrum L der Linse gehenden Richtungsstrahle νLN angehört.

MN ist also das reelle umgekehrte Bild des Objektes mn. — Wie man sieht, liegt es in der Brennebene der Linse, welche auch die Entfernung der Linse von dem untersuchten emmetropischen Auge sei, da die von demselben kommenden Strahlen überall parallel sind.

Fig. 20.



B. Das umgekehrte Bild des hypermetropischen Auges.

Sei H (Fig. 20) ein hypermetropisches Auge, mn ein Objekt seiner Netzhaut. Die vom Punkte m herkommenden Strahlen verlassen das Auge

divergent, als kämen sie von dessen negativem Fernpunkte $-R$ her. So treffen sie auf die Linse Φ, welche wir als stark genug voraussetzen, um diese divergenten Strahlen konvergent zu machen und in M zu vereinigen. M ist also das reelle Bild von m. Es ist jedenfalls von der Linse weiter entfernt als deren Brennpunkt, da letzterer Strahlen entspricht, die vor Eintritt in die Linse parallel waren. Den Ort des Bildes findet man mit Hilfe der bekannten Formel:

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{F} - \frac{1}{a},$$

worin b = Entfernung des Bildes von der Linse = LM,
a = Entfernung des Objektes von der Linse = RL,
F = Brennweite der Linse.

Unter den von n ausgegangenen, und, wie wir oben gesehen haben, von X aus divergierenden Strahlen, wählen wir den das Centrum der Linse ungebrochen durchlaufenden Richtungsstrahl XLN. Auf demselben, und zwar gleichweit wie M von der Linse entfernt, im Punkte N, vereinen sich alle von X, resp. von n ausgegangenen Strahlen, $nrLN$, wie $nKr'N$. MN ist also das reelle umgekehrte Bild des Objektes mn.

C. Das umgekehrte Bild des myopischen Auges.

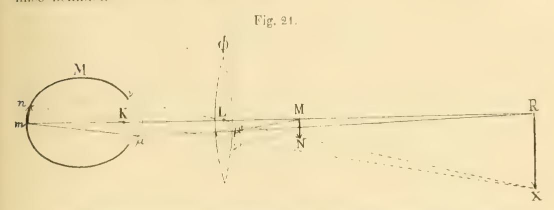
Wir wissen, dass im Fernpunktsabstande jedes myopischen Auges spontan ein reelles umgekehrtes Bild von dessen Fundus zu stande kommt, sobald derselbe erleuchtet ist. Ist die Myopie hochgradig, so genügt es in der That, mit dem Augenspiegel Licht in das Auge zu werfen, um Teile von dessen Hintergrund deutlich vor sich zu sehen. Es ist dies das Bild RN, das wir in Fig. 18 konstruiert haben. Ist aber die Myopie schwach, d. h. liegt der Fernpunkt weit vom Auge ab, so müsste man sich mit dem Spiegel so weit entfernen, um die austretenden Lichtstrahlen nicht vor ihrer Vereinigung schon zu intereeptieren, dass die Beleuchtung des Auges zu schwach würde. Außerdem ist in solchen Fällen das umgekehrte Bild so groß und infolgedessen so lichtschwach, dass man sich in dem kleinen Rahmen der Pupille darüber kaum mehr orientieren kann.

Man zieht deshalb vor, auch bei Myopie geradeso zu verfahren wie bei Emmetropie und bei Hypermetropie, d. h. sich zur Erzeugung des umgekehrten Bildes einer Konvexlinse zu bedienen. Dasselbe kommt dann natürlich der Linse näher zu stande, als es ohne dieselbe geschehen wäre, ja, wie leicht einzusehen ist, auch näher als bei Emmetropie, d. h. zwischen der Linse und ihrem Brennpunkte.

So werden z. B., in Fig. 21, die von m herkommenden, nach dem Fernpunkte R zielenden Strahlen schon in M, die von n stammenden, nach X konvergierenden Strahlen, auf dem Richtungsstrahle rLX, in N vereinigt, und MN ist das umgekehrte Bild von mn.

In erster Linie ist allerdings MN das Bild des »virtuellen« Objektes RX, d. h. eines Objektes, das sich mit ihm auf derselben Seite der Konvexlinse befindet.

Fig. 21.



Um die Entfernung des Bildes MN von der Konvexlinse zu berechnen, bedient man sich der gleichen Formel wie oben beim hypermetropischen Auge, nur wird darin $\frac{1}{a}$ negativ, eben weil Bild (MN) und Objekt (RX) auf der gleichen Seite stehen.

Also nimmt die Formel folgende Gestalt an:

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{F} - \left(-\frac{1}{a}\right) = \frac{1}{F} + \frac{1}{a}$$

in unserem Beispiele:

$$\frac{1}{LM} = \frac{1}{F} + \frac{1}{LR}.$$

Die Vergrößerung der Augenspiegelbilder.

§ 10. Da wir den Augenhintergrund nicht direkt, sondern durch den optischen Apparat des untersuchten Auges betrachten, dem wir außerdem zuweilen noch Korrektionsgläser, oder eine Konvexlinse zur Erzeugung des umgekehrten Bildes beifügen, so müssen wir uns Rechenschaft geben über den Einfluss, den diese optischen Systeme auf die Größe ausüben, unter welcher uns die Objekte des Augengrundes erscheinen.

Diese Frage gehört durchaus nicht etwa in das spekulative, rein wissenschaftliche Gebiet. Sie hat ihre große praktische Bedeutung. Es ist im höchsten Grade wichtig, die Gegenstände des Augengrundes, die uns der Augenspiegel zu Gesichte bringt, auf ihre wirkliche Größe zu reduzieren. Erinnere ich mich doch eines Falles, wo ein bedeutender Ophthalmologe im Begriffe war, ein Auge zu enukleieren, weil er einen kleinen dreieckigen Pigmentfleck am Rande der Papille für einen Eisensplitter hielt. Erst meine Überlegung, dass derselbe so klein sei, dass ein Fremdkörper niemals die nötige Penetrationskraft hätte haben können, um den ganzen Augapfel zu

durchdringen und in die Sklera einzuschlagen, brachte ihn von seinem Vorhaben ab, und zwar, wie die Folge lehrte, mit Recht.

Auch zur richtigen Orientierung, zur Lokalisation der beobachteten Stelle des Augengrundes, ist es unerlässlich, aus der scheinbaren die wirkliche Größe des Augenspiegelbildes abzuleiten. Hört man doch oft genug von der Peripherie des Augengrundes sprechen, wenn es sich um Teile handelt, die höchstens im Äquator liegen, einfach weil man die Ausdehnung der beobachteten Zone bedeutend überschätzt. Wie viel größer sind andererseits die Chancen der Extraktion eines ins Auge gedrungenen Fremdkörpers, wenn man dessen Lage mit Hilfe der Reduktion auf ihr wirkliches Maß der Strecke, welche denselben z. B. vom hinteren Pole trennt, richtig zu schätzen weiß!

Vergrößerung im allgemeinen lässt sich am richtigsten folgendermaßen definieren:

Vergrößerung ist das Verhältnis des Netzhautbildes eines mit bloßem Auge gesehenen Objektes zu dem Netzhautbilde, welches das Auge von demselben Objekte, in derselben Entfernung, mittelst eines optischen Systemes erhält[1].

Zur Bestimmung der Vergrößerung muss man also die Netzhautbilder berechnen oder messen, und sie miteinander vergleichen. Dieser Vergleich lässt sich manchmal direkt ausführen. Kann man auch die absolute Größe eines Netzhautbildes nicht messen, so kann man doch seine relative Größe schätzen, indem man das fragliche Netzhautbild sich mit dem Netzhautbilde eines bekannten Objektes in demselben Auge decken lässt, und so die beiden miteinander vergleicht. Man verlegt dabei offenbar das Objekt, welches das fragliche Bild hervorgerufen hat, in die Entfernung des bekannten Objektes. Dies »Verlegen« eines Netzhautbildes in eine gegebene Entfernung heißt man auch »projizieren«. Dabei sucht man sozusagen das Objekt, welches in der gegebenen Entfernung ein Netzhautbild von der gegebenen Größe hervorgerufen hätte, oder man vergleicht das Netzhautbild mit den Netzhautbildern der in der Projektionsebene liegenden Gegenstände.

So betrachtet man, zur Bestimmung der Vergrößerung terrestrischer Fernrohre, einen Maßstab durch das Instrument, während seitwärts davon, in gleicher Entfernung, ein gleicher Maßstab durch einen halbdurchsichtigen Spiegel unter 45° in das Auge reflektiert wird. Die sich deckenden Netzhautbilder der beiden Maßstäbe werden, unserer Definition gemäß, in dieser Weise direkt miteinander verglichen.

Man kann zu diesem Versuche auch beide Augen benutzen: Während man mit dem einen Auge einen scharf begrenzten Gegenstand, z. B. ein

1) E. Landolt, Ophthalmoskopie. 1. Aufl. d. Handb. III. S. 110. 1874 und Le grossissement des images ophtalmoscopiques. Paris 1874. Delahaye.

Fenster, direkt betrachtet, sieht man denselben Gegenstand mit dem anderen Auge durch das Fernrohr an. Man richtet dann das letztere so, dass z. B. der eine Winkel des Fensters, in beiden Bildern denselben Ort einnimmt. So ist es leicht abzuschätzen, wie oft das direkt gesehene Bild in dem durch das Instrument entworfenen enthalten, resp. wie stark die vergrößernde Kraft des letzteren ist. Man heißt diese Art der Messung die »Methode à double vue«.

In ganz analoger Weise wie die der Fernrohre lässt sich auch die Vergrößerung der Mikroskope bestimmen: Als Objekt benutzt man einen, gewöhnlich in Hundertstelsmillimeter geteilten Mikrometer, den man mit einem Auge durch das Mikroskop betrachtet, während das andere auf einen daneben liegenden Millimetermaßstab sieht. — Oder der letztere wird seitwärts angebracht, und sein Bild, durch eine mit dem Okular verbundene Camera lucida, in das mikroskopierende Auge reflektiert.

In beiden Fällen bestimmt man wieder, wie viele Teilstriche des einen auf einen des anderen Netzhautbildes gehen.

Ist die Entfernung des Maßstabes, auf welchen man das vergrößerte Bild projiziert, geradeso groß wie die des Auges vom Objekte, also etwa gleich der Länge des Tubus des Mikroskopes, dann ist diese Art der Messung der oben besprochenen »à double vue« offenbar vollkommen gleich.

Gewöhnlich wählt man dazu allerdings eine etwas größere Entfernung, 20 bis 30 cm, indem man anführt: Das Auge sieht gewöhnlich nicht auf die kurze Distanz, in welcher sich das Objekt befindet, und, da weder Konvergenz noch Akkommodation uns zu einer bestimmten Projektionsweite zwingen, so wählen wir dafür die Entfernung, in welcher man kleine Gegenstände zu betrachten pflegt, in welcher man liest, schreibt, zeichnet.

Man hat diese Entfernung die »deutliche Sehweite« genannt, weil man früher annahm, dies sei die Entfernung, für welche ein ruhendes normales Auge eingestellt sei. Unsere Ansichten über die optische Einstellung des normalen Auges haben sich nun allerdings etwas geändert; nichtsdestoweniger lässt sich diese Methode der Bestimmung der Vergrößerung ganz wohl beibehalten. Sie ist nicht nur sehr einfach, sondern sie stimmt auch mit der Wirklichkeit insofern überein, als man Retinalbilder, welche optische Instrumente von sehr nahen Objekten liefern, gewöhnlich in die Entfernung verlegt, in welcher man kleine Gegenstände zu betrachten pflegt. So sind denn auch die Zeichnungen, welche verschiedene Beobachter von gleichstark vergrößerten mikroskopischen Präparaten entwerfen, in ihrer Größe gewöhnlich nicht sehr verschieden. Da aber der Ausdruck »deutliche Sehweite« nicht ganz richtig ist, haben wir dafür den Ausdruck »Projektionsweite« gewählt.

Zur Bestimmung der Lupenvergrößerung lässt sich kaum ein besserer Weg einschlagen als der eben genannte. Hier liegt das betrachtete

Objekt dem Auge gewöhnlich so nahe, dass dasselbe ohne das optische Instrument überhaupt nicht deutlich gesehen werden könnte. Man projiziert denn auch das durch die Lupe gelieferte Netzhautbild nicht auf die wirkliche, zu kurze Entfernung des Objektes, sondern wiederum auf die obgenannte Projektionsweite. Mit anderen Worten: Man vergleicht dies Netzhautbild mit demjenigen, welches das unbewaffnete Auge, von demselben Objekte, aus der Projektionsebene erhalten würde (87, 138).

Vergrößerung des Augengrundes bei der Untersuchung im aufrechten Bilde.

§ 11. Bei der Untersuchung des Auges im aufrechten Bilde, befinden wir uns offenbar in denselben Verhältnissen wie bei der Betrachtung eines Objektes durch die Lupe. Wie bei jener, so steht auch hier das Objekt — der Augengrund — dem beobachtenden Auge so nahe, dass dasselbe, ohne das dioptrische System des untersuchten Auges, kein deutliches Bild von dessen Grund erhalten könnte. Wir werden denn auch, bei der Beurteilung der Vergrößerung des im aufrechten Bilde betrachteten Augenhintergrundes, nach dem gleichen Prinzipe verfahren, wie bei derjenigen der Lupenvergrößerung.

Wir nehmen an, der untersuchte Augengrund enthalte ein Objekt von der Größe 1, und berechnen die Größe des Bildes, welches der Beobachter von diesem Objekte erhält. Dies Bild projizieren wir dann in die angenommene Projektionsweite, resp. wir vergleichen es mit dem Netzhautbilde, welches der Beobachter von einem gleichgroßen Objekte aus der Projektionsebene erhalten würde.

Fig. 22.

Bezeichnen wir, in Fig. 22,

mit P die Projektionsweite, d. h. die Entfernung AK der Projektionsebene vom Knotenpunkte des Auges,

G'' die Knotenpunkt-Netzhautdistanz Ka,

β ein Netzhautbild,

Π dessen Projektion auf die Entfernung P,

so bestehen, zwischen diesen Größen, offenbar folgende einfache Verhältnisse:

$$\frac{H}{\beta} = \frac{P}{G''}, \text{ also } H = \frac{\beta \cdot P}{G''} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{Ia}$$

und

$$\frac{\beta}{H} = \frac{G''}{P}, \text{ also } \beta = \frac{G'' \cdot H}{P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{Ib}$$

Im ruhenden, emmetropischen, schematisch reduzierten Auge, ist $G'' = 15$ mm. Bei der Akkommodation rückt allerdings der Knotenpunkt etwas nach vorn, die Knotenpunkt-Netzhautdistanz wird etwas größer. Bei der Akkommodation auf 24 cm z. B. wird sie 15,3 mm. Den Unterschied dürfen wir wohl vernachlässigen.

Setzen wir in den obigen Ausdrücken $G'' = 15$ mm, und wählen wir als Projektionsweite 240 mm, so erhalten wir für $H = \frac{\beta \cdot 240}{15} = 16 \cdot \beta$. Die Projektion eines Netzhautbildes auf 24 cm wäre in diesem Falle also 16 mal größer als das Bild.

Für β erhalten wir $\frac{H \cdot 15}{250} = \frac{H}{16}$.

Das heißt: steht in der Projektionsebene ein Objekt H, so ist sein Netzhautbild β 16 mal kleiner.

Es befinde sich in der Projektionsebene z. B. eine Millimetereinteilung, und das Objekt des untersuchten Augengrundes habe einen Durchmesser von 1 mm, so kommt es offenbar auf dasselbe heraus, ob wir dessen Netzhautbild β 16 mal vergrößert auf den in der Projektionsebene befindlichen Maßstab projizieren, oder dies Netzhautbild selbst mit dem 16 mal verkleinerten, dasselbe deckenden Netzhautbilde des Maßstabes vergleichen[1].

Alles dies wird nun mit Hilfe der folgenden Beispiele klarer werden. Wir setzen dabei immer einen emmetropischen Beobachter voraus und nehmen an:

1. das untersuchte Auge sei emmetropisch.

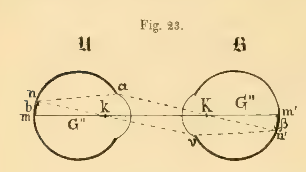
Wir haben schon oben (S. 21) auseinandergesetzt, wie das Bild eines emmetropischen Augengrundes auf der Netzhaut eines anderen emmetropischen Auges zu stande kommt.

1) Man kann mit MAUTHNER allerdings sagen: »ob die Projektionsweite größer oder kleiner ist, ob die Papille größer oder kleiner erscheint, der Vorteil, der dem Beobachter durch das dioptrische System des untersuchten Auges erwächst, ist derselbe. Erhält er von dessen Fundus ein 10 mal größeres Bild als von bloßem Auge, so wird er darin eben 10 mal kleinere Détails unterscheiden«. — Dies ist schon richtig, aber, um angeben zu können, um wieviel mal der Fundus oculi dem Beobachter vergrößert erscheint, muss man eben die Entfernung angeben, in welcher derselbe »von bloßem Auge« gesehen wird. Man entgeht also der Wahl einer Projektionsweite nicht.

Sei 𝔘 (Fig. 23) ein solches untersuchtes, 𝔅 das beobachtende Auge, $mn = b$ ein Objekt, β dessen Bild.

Die Größe des letzteren wird dadurch gefunden, dass man den durch K gehenden Richtungsstrahl $\alpha K n'$, dem durch k gehenden $nk\nu$ parallel, nach der Netzhaut von 𝔅 zieht. Nun sind offenbar die Dreiecke mnk und $m'n'K$, denen Objekt b und Bild β angehören, kongruent, denn die Seiten km und Km' sind in beiden, weil emmetropischen, Augen gleich (G'').

Fig. 23.



Die Winkel $m'Kn'$ und mkn sind einander gleich, weil deren Schenkel nk und $n'K$ parallel sind.

Das Netzhautbild β ist also gleich seinem Objekte b.

Hat letzteres die Größe 1, so ist auch das Netzhautbild $\beta = 1$, und sein Projektionsbild Π, auf 24 cm ist

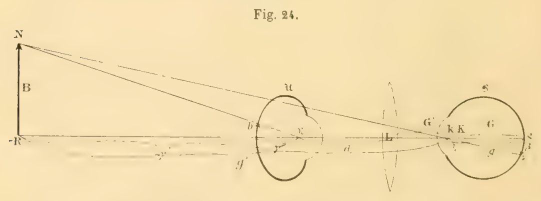
$$\frac{\Pi}{\beta} = \frac{240}{15} = 16 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{I}$$

Wir können also sagen, dass bei Zugrundelegung einer Projektionsweite von 24 cm, der Augengrund eines emmetropischen Auges im aufrechten Bilde in sechzehnfacher Vergrößerung erscheint.

2. Das untersuchte Auge sei hypermetropisch.

Ist das untersuchte Auge hypermetropisch, so treten die von dem Objekte b seiner Netzhaut kommenden Strahlen so divergent aus, als kämen

Fig. 24.



sie von einem, in der Entfernung seines Fernpunktes $-R$, hinter dem Auge gelegenen, aufrechten, größeren Objekte B (Fig. 24) her. Dies virtuelle Bild B wird dann zum Objekte für das beobachtende Auge 𝔅.

Da dies emmetropische Auge aber die von dem Objekte B kommenden, divergenten Strahlen, im Ruhezustande, nicht auf seiner Netzhaut vereinen

kann, muss es sich mittelst eines Konvexglases darauf einstellen, d. h. seine Refraktion so stark erhöhen, dass sein Einstellungspunkt R mit dem Fernpunkte des untersuchten Auges zusammenfällt[1]). Dann wird es von dem virtuellen Bilde B, resp. von dem Objekte b der untersuchten Netzhaut, ein scharfes Bild β erhalten. Dies Bild projizieren wir dann auf 24 cm, um die gesuchte Vergrößerung zu finden.

Bezeichnen wir den Knotenpunkt des untersuchten Auges mit $\varkappa$, und die Entfernung $\varkappa R$ des Fernpunktes vom Knotenpunkte mit $-\gamma'$ (minus, weil das Bild ein virtuelles, mit seinem Objekte auf der gleichen Seite des dioptrischen Systems liegendes ist), und mit γ'' die Knotenpunkt-Netzhautdistanz dieses Auges.

Da wir die Konstruktion des virtuellen Bildes schon aus dem vorigen Paragraphen kennen, begnügen wir uns damit, vom Knotenpunkte $\varkappa$ aus, durch das obere Ende des Objektes b, den Richtungsstrahl $\varkappa N$ nach der Fernpunktsebene zu ziehen, um das entsprechende Ende N des Bildes B zu finden.

Es verhält sich dann offenbar $B : b = \gamma' : \gamma''$, also ist

$$B = \frac{b\,\gamma'}{\gamma''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

und, wenn $b = 1$,

$$B = \frac{\gamma'}{\gamma''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2b)$$

Die Größe des virtuellen Bildes ist also proportional der Entfernung γ' des Fernpunktes vom Knotenpunkte, also umgekehrt proportional dem Grade der Hypermetropie und umgekehrt proportional der Knotenpunkt-Netzhautdistanz γ''.

Diese Größe γ'' hängt ab sowohl von dem Grade, als von der Ursache der Hypermetropie.

γ'' ist um so kleiner, je höher der Grad der Hypermetropie; und, für denselben Grad, kleiner bei Achsen- als bei Krümmungshypermetropie.

1) Zu diesem Zwecke muss offenbar der Brennpunkt dieses Konvexglases ebenfalls mit dem Fernpunkte R des hypermetropischen Auges zusammenfallen. Dies ist also das Korrektionsglas für die Hypermetropie des untersuchten Auges. — Es kommt in der That auf dasselbe heraus, ob wir sagen: das Konvexglas macht das untersuchte Auge emmetropisch, so dass der emmetropische Beobachter dessen Fundus deutlich zu sehen vermag, oder: es macht den Beobachter so stark myopisch, dass er die vom untersuchten Auge divergent austretenden Strahlen auf seiner Netzhaut zur Vereinigung bringen kann.

Im vorhergehenden Paragraphen haben wir den ersteren Weg eingeschlagen, die Linse mit dem untersuchten Auge vereinigt gedacht, und die sie verlassenden Strahlen als parallel betrachtet. — Nun denken wir uns die Linse als dem beobachtenden Auge angehörig, dessen optisches System dadurch verstärkt, und für divergente Strahlen eingestellt wird.

Nehmen wir nun an, der Fernpunkt des hypermetropischen Auges liege 80 mm hinter dessen Knotenpunkt, so ist $\gamma' = 80$ mm.

Ist die Hypermetropie durch Verkürzung der Achse hervorgebracht, so ist $\gamma'' = 12$ mm[1]), also

$$B = \frac{\gamma'}{\gamma''} = 80 : 12 = 6{,}66 \text{ mm}.$$

Dies ist also das Objekt für den Beobachter $\mathfrak{B}$. — Nehmen wir an, die Konvexlinse L, mit welcher er sich auf die Entfernung d desselben einstellt, befinde sich 30 mm vor dem Knotenpunkte $\varkappa$ des untersuchten Auges, so muss sie eine Brennweite von $\gamma' + d = 80 + 30 = 110$ mm haben. — Durch den Zusatz dieser Konvexlinse rückt der Knotenpunkt des beobachtenden Auges $\mathfrak{B}$ nach vorn, von K nach k.

Steht das Glas gerade im vorderen Brennpunkte φ' dieses Auges, so findet man die Verschiebung des Knotenpunktes nach der bekannten Formel $\eta = \frac{F' \cdot F''}{l'}$ oder $\frac{G'' \cdot G'}{l'} = \frac{300}{l'}$, worin l' die Brennweite des Glases, d. h. die Entfernung $\varphi' R$ des vorderen Brennpunktes von dem Punkte ist, für welchen dieselbe das Auge einstellt[2]).

In unserem Falle wird also Kk oder $\eta = \frac{300}{110} = 2{,}7$ mm, und die Knotenpunkt-Netzhautdistanz $k\varrho = g''$ des so korrigierten Auges

$$g'' = G'' + \eta = 15 + 2{,}7 = 17{,}7 \text{ mm}.$$

Endlich die Entfernung kR des Knotenpunktes k vom Objekte B, oder g':

$$g' = \gamma' + d + G' - \eta = 80 + 30 + 20 - 2{,}7 = 127{,}3 \text{ mm}.$$

In diesem Knotenpunkte k kreuzen sich die Richtungsstrahlen, welche von den Endpunkten R und N des Objektes B zu den entsprechenden Punkten ϱ und ν des Bildes β gehen.

1) Nach der Formel $\gamma'' = \frac{\gamma' \cdot G''}{\gamma' + G'}$, worin $G'' = 15$ mm, $G' = 20$ mm, oder der Formel $l'' = \frac{G' \cdot G''}{l'}$, worin l'' = Unterschied der Länge des ametropischen und des emmetropischen Auges.

Bei Hypermetropie ist

$l'' = G' - \gamma''$, und $\gamma'' = G'' - l''$.

Die Entfernung $\varphi' R$ des vorderen Brennpunktes vom Fernpunkte, ist

$l' = \gamma' + G'$, weil, bei Hypermetropie, R **hinter** dem Auge liegt.

In unserem Beispiele wird $l' = \gamma' + G' = 80 + 20 = 100$ mm, also $l'' = \frac{G' \cdot G''}{l'} = \frac{300}{100} = 3$ mm, und $\gamma'' = G'' - l'' = 15 - 3 = 12$ mm.

2) Die Formel für l'', den Unterschied der Länge des ametropischen und des emmetropischen Auges gleicher Brechkraft, ist, wie man sieht, identisch mit der Formel für η, der Verschiebung, welche der Knotenpunkt unter dem Einflusse einer im vorderen Brennpunkte stehenden Linse erfährt.

Daraus folgt für die Größe des Bildes β der Ausdruck:

$$\beta = \frac{B \cdot g''}{g'} \quad \ldots \ldots \quad 3a)$$

Setzen wir die entsprechenden Werte ein, so erhalten wir:

$$\beta = \frac{6{,}66 \times 17{,}7}{127{,}3} = 0{,}92 \text{ mm}.$$

Wir können auch in die Formel für β, statt B, dessen oben gefundenen Ausdruck $B = \frac{\gamma'}{\gamma''}$ einführen; dann wird

$$\beta = \frac{\gamma' \cdot g''}{\gamma'' \cdot g'} \quad \ldots \ldots \quad 3b)$$

In unserem Beispiele:

$$\beta = \frac{80 \times 17{,}7}{12 \times 127{,}3} = 0{,}92.$$

So groß ist also das Netzhautbild, welches das Auge 𝔅 von einem 1 mm großen Objekte b der Netzhaut des Auges 𝔘 erhält.

Die Projektion desselben auf 24 cm, d. h. die Vergrößerung, unter welcher ihm dasselbe erscheint, ist also:

$$16 \times 0{,}92 = 14{,}7.$$

Krümmungshypermetropie. Ist die Hypermetropie des untersuchten Auges durch unzureichende Krümmung seiner brechenden Flächen bedingt, so entspricht dieselbe einer Verlängerung des Krümmungsradius des reduzierten Auges, welches wir unseren Betrachtungen zu Grunde legen. Dieser Radius berechnet sich nach der Formel

$$r = \frac{F'' - \gamma' + \sqrt{F'' \cdot \gamma' + (\gamma' - F'')^2}}{2} \quad \ldots \ldots \quad (4a)$$

worin F'' die zweite Hauptbrennweite des reduzierten Auges $= 20$ mm, γ' wie bisher die Entfernung des Fernpunktes zum Knotenpunkte bezeichnet (58d).

In unserem Beispiele, wo $\gamma' = 80$ mm, wird $r = 6{,}0$ mm, also

$$\gamma'' = F'' - r = 20 - 6 = 14 \text{ mm}$$

und

$$B = 5{,}7 \text{ mm}.$$

Das entsprechende Netzhautbild β im Auge des Beobachters wird also

$$\beta = \frac{5{,}7 \times 17{,}7}{127{,}3} = 0{,}79 \text{ mm}$$

und seine Projektion auf 24 cm, d. h. die Vergrößerung

$$16 \times 0{,}79 = 12{,}64.$$

Die Vergrößerung des aufrechten Bildes ist also, caeteris paribus, bedeutender bei Achsenhypermetropie, als bei Krümmungshypermetropie.

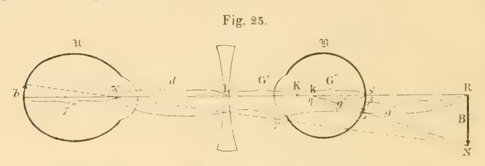
Diese Thatsache geht schon aus meiner Formel $\beta = \frac{\gamma' \cdot g''}{\gamma'' \cdot g}$ hervor (86, 87, 115).

γ', g'' und g sind für beide Arten der Hypermetropie dieselben, γ'' aber ist, wie wir gesehen haben, kleiner bei Achsen-, größer bei Krümmungshypermetropie. Und, da β und γ'' einander umgekehrt proportional sind, so wird eben β größer in ersterem, kleiner in letzterem Falle.

3. **Das untersuchte Auge sei myopisch.**

Die vom Grunde des myopischen Auges kommenden Strahlen verlassen dasselbe so konvergent, dass sie sich in der Entfernung des Fernpunktes R (Fig. 25) vereinigen würden.

Fig. 25.



Dort würde also von dem Objekte b des Augengrundes das reelle, umgekehrte Bild B zu stande kommen.

Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde, fängt der Beobachter diese Strahlen in seinem Auge 𝔅 auf, um sie auf seiner Netzhaut, in β zu vereinigen.

Um aber konvergente Strahlen auf seiner Netzhaut zu vereinigen, muss sich der Beobachter sozusagen hypermetropisch machen, und zwar so stark, dass sein negativer Fernpunkt mit dem positiven des myopischen untersuchten Auges zusammenfällt.

Dazu setzt er sich ein Konkavglas vor, dessen Brennpunkt ebenfalls mit R zusammenfallen muss.

Das Bild B wird also sozusagen zum Objekte für das beobachtende Auge, das davon das Bild β erhält.

Um dessen Größe zu berechnen, müssen wir die Lage des Knotenpunktes kennen, der durch das Konkavglas nach rückwärts verlegt worden ist, und zwar um die Strecke ι von K nach k.

Nennen wir die Knotenpunkt-Netzhautdistanz des untersuchten Auges $= \gamma''$, die Knotenpunkt-Fernpunktdistanz ($\varkappa R$) desselben $= \gamma'$, die Größe des seiner Netzhaut angehörenden Objektes $= b$, so haben wir für das Bild B das Verhältnis:

$$B : b = \gamma' : \gamma''$$

woraus:

$$B = \frac{b \cdot \gamma'}{\gamma''}$$

und, wenn $b = 1$

$$B = \frac{\gamma'}{\gamma''} \quad . \quad . \quad . \qquad . \quad . \quad . \quad 2b,$$

Bezeichnen wir, im beobachtenden Auge, mit g'' die Entfernung des verlegten Knotenpunktes k von der Netzhaut, mit g' die Entfernung (kR) desselben vom Fernpunkte des untersuchten Auges, resp. dem Brennpunkte der Konkavlinse, so haben wir für das Netzhautbild β das Verhältnis:

$$\beta : B = g'' : g'$$

woraus:

$$\beta = \frac{B \cdot g''}{g'} .$$

Setzen wir in diese Formel den eben gefundenen Ausdruck für B, so haben wir wieder, wie oben:

$$\beta = \frac{\gamma' \cdot g''}{\gamma'' \cdot g'} .$$

Nehmen wir ein bestimmtes Beispiel:

Der Fernpunkt R des untersuchten myopischen Auges liege 80 mm vor dessen Knotenpunkt $\varkappa$; also $\gamma' = 80$ mm.

a) Achsenmyopie. Ist die Entfernung des Knotenpunktes vom Fernpunkte $= 80$ mm, so ist diejenige des vorderen Brennpunktes (φ') von demselben $l' = 80 - 20 = 60$ mm. Also beträgt die Verlängerung dieses Auges, resp. der Unterschied zwischen demselben und dem Normalauge

$$l'' = \frac{300}{60} = 5 \text{ mm.}$$

Also ist

$$\gamma'' = G'' + 5 = 15 + 5 = 20 \text{ mm.}$$

Steht das Konkavglas in der Entfernung $kL = d$ vor dem Knotenpunkte dieses Auges, so muss ihre Brennweite LR sein $= \gamma' - d$.

Befindet sie sich im vorderen Brennpunkte des beobachtenden Auges, so rückt dessen Knotenpunkt nach hinten um $\iota_{\prime} = \frac{300}{\gamma' - d}$.

Ist $d = 30$ mm, so wird also

$$\iota_{\prime} = \frac{300}{80 - 30} = \frac{300}{50} = 6 \text{ mm.}$$

Die Knotenpunkt-Netzhautdistanz des so korrigierten Auges wird also

$$g'' = G'' - \iota_{\prime} = 15 - 6 = 9 \text{ mm}$$

und

$$g' = \gamma' - d - G' - \iota_{\prime} = 80 - 30 - 20 - 6 = 24 \text{ mm.}$$

Also ist die Größe des Netzhautbildes, welches der Beobachter von dem 1 mm großen Objekte der Netzhaut des untersuchten Auges erhält

$$\beta = \frac{80 \times 9}{20 \times 24} = 1{,}5 \text{ mm.}$$

Die Vergrößerung ist also in diesem Falle eine $16 \times 1{,}5 = 24$ fache.

b) Krümmungsmyopie. Um, bei gleicher Länge wie das emmetropische Auge, auf $\gamma' = 80$ mm eingestellt zu sein, muss die Krümmung der brechenden Flächen des Auges so stark zunehmen, dass der Radius r des reduzierten Auges nur mehr 4,17 mm, statt 5 mm beträgt.

$$\gamma'' \text{ wird also } = 20 - 4{,}17 = 15{,}83 \text{ mm.}$$

Befindet sich das beobachtende in derselben Entfernung vom untersuchten Auge und steht das Korrektionsglas an derselben Stelle wie im vorigen Falle, so bleiben die übrigen Werte dieselben, und wir erhalten für das gesuchte Netzhautbild die Formel:

$$\beta = \frac{80 \times 9}{15{,}83 \times 24} = 1{,}9 \text{ mm.}$$

Auf 24 cm projiziert, würde dies eine Vergrößerung von $16 \times 1{,}9 = 30{,}4$ ergeben.

Stellen wir die Resultate unserer Rechnungen zusammen, so wäre also die Vergrößerung des aufrechten Bildes folgende:

Bei Emmetropie	= 16	fach
Achsenhypermetropie (γ' 80 mm)	= 14,7	
Krümmungshypermetropie ($\gamma' = 80$ mm)	= 12,6	»
Achsenmyopie ($\gamma' = 80$ mm)	= 24	
Krümmungsmyopie ($\gamma' = 80$ mm	= 30,4	»

Diese Zahlen haben offenbar nur einen relativen Wert, sie hängen ab von der mehr oder weniger willkürlich gewählten Projektionsdistanz (P).

In meinen früheren Arbeiten über Vergrößerung überhaupt und ophthalmoskopische Vergrößerung im speziellen, habe ich dieselbe, mit Donders, als gleich 30 cm angenommen, und zwar hauptsächlich deshalb, weil das Verhältnis $P : G''$, d. h. 300 : 15, dann die einfache Zahl 20 ergiebt.

Man kann sich allerdings fragen, inwieweit diese Vergrößerungszahl auch für die Untersuchung im aufrechten Bilde der Wirklichkeit entspricht. — Dazu giebt es ein sehr einfaches Mittel. Wie wir gesehen haben, ist das Netzhautbild, welches ein Normalauge von einem Objekte des Fundus eines anderen Normalauges erhält, gleichgroß wie dies Objekt:

$$\beta = b.$$

Wir brauchen also einfach die Größe H zu messen, welche ein emmetropischer Beobachter einem bekannten Objekte $b = \beta$ des Augengrundes eines emmetropischen Auges, z. B. der Papille verlegt, um aus dem Verhältnis $\frac{H}{\beta}$ die Vergrößerung, und damit auch die Entfernung P zu kennen, in welche derselbe sein Netzhautbild verlegt.

In der That ist ja $P = \frac{H \cdot G''}{\beta}$, worin $G'' = 15$ mm, und β, in unserem Beispiele, der Durchmesser der Papille, den wir = 1,5 mm annehmen dürfen.

Die Projektionsweite wird also $P = \frac{H \cdot 15}{1,5} = 10\,H$. Mit anderen Worten: wir brauchen einfach den Durchmesser H einer gezeichneten Papille zu messen und mit 10 zu multiplizieren, um zu wissen, in welche Entfernung der Autor das aufrechte Bild verlegt. Auf Taf. II, Bd. XXII Teil I, S. 33 dieses Handbuches, haben die Sehnerveneintritte 15 mm Durchmesser. Die Projektionsdistanz wäre also nur 15 cm. Eine Entfernung, deren sich normale Augen nur sehr ausnahmsweise bedienen. Solche Bilder sind übrigens zur Wahl einer allgemein gültigen Projektionsweite deshalb nicht geeignet, weil dieselben dem beschränkten Formate des Buches angepasst sind. Wir wenden uns deshalb besser an die Bilder ophthalmoskopischer Atlanten, welche der Autor so groß entwerfen konnte, wie es ihm sein Gefühl eingab. Dr. Lindsay Johnson's Papille (Taf. I) hat nun, in einem Durchmesser, 25 mm, im anderen 23 mm, im Mittel also 24 mm. Auch in von Jaeger's, Oeller's, und anderen guten Darstellungen des Augengrundes, finden wir von 24 mm nicht sehr verschiedene Papillendurchmesser. Daraus ergiebt sich also eine Projektionsweite von 24 cm, wie wir sie den obigen Auseinandersetzungen zu Grunde gelegt haben.

In meinen ophthalmoskopischen Kursen pflegte ich meine Schüler, was sie mit dem Augenspiegel sahen, zeichnen zu lassen. Da war es nun jeweilen höchst interessant, zu konstatieren, in welch verschiedenen Größen die Papille, verschiedenen Beobachtern, im aufrechten Bilde erschien. Während der eine das kleine Ende seines Stethoskopes benutzte, um deren Kontur zu umschreiben, d. h. ihr einen Durchmesser von wenigstens 2,5 cm beilegte, präsentierte mir ein anderer einen wenige Millimeter im Durchmesser haltenden, unscheinbaren Fleck als Bild der Papille. Und doch waren die Netzhautbilder der beiden Beobachter ungefähr gleichgroß; nur verlegte der erstere dasselbe in weitere, der letztere in ganz kurze Entfernung. Diese Entfernung hängt jedenfalls ab von der Vorstellung, die sich der Beobachter von der Lage des Objektes macht (man denke an die verschiedene Größe, in welcher verschiedenen Personen z. B. der Vollmond erscheint), dann aber auch von der Akkommodationsanstrengung, die er bei der Untersuchung macht. Manche meiner Schüler behaupteten, obschon emmetropisch, das aufrechte Bild eines emmetropischen, ja sogar hypermetropischen Auges besser mit einem Konkavglase, als mit bloßem Auge zu sehen. Dies ist der beste Beweis dafür, dass sie dabei stark akkommodierten, ein in größter Nähe liegendes Objekt vor sich zu haben glaubten. — Damit ist nun allerdings durchaus nicht gesagt, dass demjenigen, der mit Erschlaffung seiner Akkommodation untersucht, die Papille unendlich

groß erscheine, auch er verlegt sie, wie alles was er sieht, in eine gewisse, endliche Entfernung: denn für »unendlich« haben wir nur ein Wort, der Begriff davon fehlt uns endlichen Menschen.

Interessanter als absolute Vergrößerungszahlen ist es, die Größenverhältnisse zu kennen, unter welchen die Netzhautbilder (β) zu einander stehen, welche ein Beobachter vom Grunde verschiedener, im aufrechten Bilde untersuchten Augen erhält.

Die Antwort auf diese Frage ergiebt sich in jedem Falle aus unserer Formel:

$$\beta = \frac{\gamma' \cdot g''}{\gamma'' \cdot g'} .$$

Daraus erhellt unter anderem auch die Gleichheit des Netzhautbildes mit seinem Objekte, wenn das untersuchte und das beobachtende Auge emmetropisch sind, denn dann wird die Entfernung des Fernpunktes vom Knotenpunkte (γ' und g') in beiden unendlich, und die Knotenpunkt-Netzhautdistanz (g'' und γ'') in beiden $= G''$.

Dasselbe findet aber auch statt, wie ich nachgewiesen habe (87, 115), wenn das Korrektionsglas im vorderen Brennpunkte des achsenametropischen, untersuchten Auges steht, denn auch in diesem Falle wird $\gamma' = \infty$ und $\gamma'' = G''$, d. h. beide Werte sind identisch mit den entsprechenden Werten des emmetropischen Beobachters. Und zwar hat auch in diesem Falle die Entfernung der beiden Augen voneinander keinen Einfluss auf die Größe des Netzhautbildes.

Die Vergrößerung des umgekehrten Augenspiegelbildes.

§ 12. Das umgekehrte Bild ist, wie wir oben gezeigt haben, ein reelles Bild, das eine absolute Größe hat. Man kann es auf einem Schirme auffangen und so direkt messen, oder man kann dessen Größe, unter der Voraussetzung eines gegebenen Objektes des untersuchten Augengrundes, berechnen.

Die Berechnung der Vergrößerung bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde ist also eine durchaus einfache. Man braucht dazu weder die Größe des Netzhautbildes im Auge des Beobachters zu kennen, noch eine Projektionsweite anzunehmen. Die Vergrößerung des umgekehrten Augenspiegelbildes ist einfach das Verhältnis der Größe dieses Bildes zu derjenigen des Objektes.

Geben wir dem Objekte b des Augengrundes die Größe 1, so ergiebt die berechnete Größe des umgekehrten Bildes x die Vergrößerungszahl.

Da wir schon oben das Zustandekommen des umgekehrten Bildes auseinandergesetzt haben, so können wir uns bei der Berechnung der Größe desselben kurz fassen. Wir werden überall nennen:

b das Objekt des Augengrundes, von der Größe 1,

Φ die Brennweite der zur Erzeugung des umgekehrten Bildes verwendeten Konvexlinse,

L deren optisches Centrum,

d die Entfernung LK der Linse vom Knotenpunkte K des Auges,

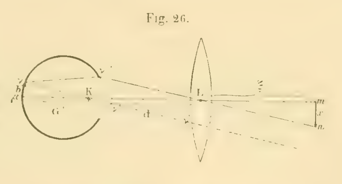
ξ die Entfernung Lm des umgekehrten Bildes von der Linse,

$x = mn$ die Größe des umgekehrten Bildes.

Größe des umgekehrten Bildes des emmetropischen Auges.

Die Strahlen, welche von dem einen Endpunkte μ des Objektes b (Fig. 26) des Augengrundes ausgehen, verlassen das Auge dem Achsenstrahle μKLm parallel. So treffen sie auf die Konvexlinse, welche parallele Strahlen in ihrem Brennpunkte vereinigt. Das Bild m von μ entsteht also im Brennpunkte der Linse. Also ist die Entfernung $mL = \xi$, in diesem Falle $= \Phi$, und dies unabhängig von der Entfernung d der Linse vom untersuchten Auge, da parallele Strahlen überall parallel sind.

Fig. 26.



Die vom anderen Endpunkte ν des Objektes kommenden Strahlen verlassen das Auge dem Achsen- oder Richtungsstrahle $\nu K \nu'$ parallel.

Einer derselben, der Strahl $\nu'' L$, ist nach dem optischen Centrum L, der Linse, gerichtet. Er durchläuft dieselbe also ungebrochen, und bezeichnet in n, um die Brennweite hinter der Linse, das Bild des Punktes ν.

mn ist also das umgekehrte Bild von $\mu\nu$.

Die Dreiecke mnL und $\mu\nu K$ sind offenbar einander ähnlich, weil gebildet von parallelen Seiten.

Wir setzen also:

$$mn : \mu\nu = mL : \mu K$$

oder

$$x : b = \Phi : G''$$

$$x = \frac{b \cdot \Phi}{G''} \qquad \ldots \ldots (5)$$

oder, da $b = 1$

$$x = \frac{\Phi}{G''} \qquad \ldots \ldots (5a)$$

Dies G'' ist im reduzierten emmetropischen Auge $= 15$ mm. Benutzt man zur Produktion des umgekehrten Bildes eine Konvexlinse von 15 D., d. h.

67 mm Brennweite, so entsteht das umgekehrte Bild 67 mm hinter derselben, und hat, für ein Objekt von 1 mm Durchmesser, einen solchen von

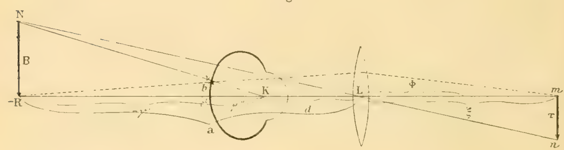
$$x = \frac{67}{15} = 4{,}4 \text{ mm.}$$

Die Vergrößerung des umgekehrten Bildes eines emmetropischen Auges für eine Konvexlinse von 15 D. ist also eine 4,4fache.

Größe des umgekehrten Bildes des hypermetropischen Auges.

Die von dem Objekte b der Netzhaut des hypermetropischen Auges kommenden Strahlen verlassen dasselbe, wie wir oben mehrfach auseinandergesetzt, als kämen sie von einem, in der Fernpunktsdistanz $KR = \gamma'$, hinter demselben gelegenen, gleichgerichteten Objekte B her (Fig. 27).

Fig. 27.



So treffen sie auf die Linse L, welche sie in der Entfernung ξ zu einem umgekehrten Bilde x vereinigt.

Wir fragen nun in erster Linie: Wo entsteht das Bild x, resp. das Bild m des Punktes R?

Dazu dient die bekannte Formel, nach welcher man die konjugierten Brennweiten der Konvexlinse berechnet:

$$\frac{1}{\xi} = \frac{1}{\Phi} - \frac{1}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6a$$

worin a = Entfernung RL des Objektes von der Linse. In unserem Falle ist a offenbar $= \gamma' + d$.

Wir setzen also

$$\frac{1}{\xi} = \frac{1}{\Phi} - \frac{1}{\gamma' + d}$$

woraus

$$\xi = \frac{\Phi\,(\gamma' + d)}{\gamma' + d - \Phi} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6b)$$

Nun wir die Entfernung des Bildes von der Linse kennen, wird die Konstruktion, und damit die Berechnung der Größe desselben äußerst einfach.

Wir brauchen nur, vom anderen Endpunkte N des Objektes B, den Richtungsstrahl NLn durch das optische Centrum der Linse zu ziehen, um in n den entsprechenden Endpunkt des Bildes x zu finden.

Die Dreiecke mnL und RNL sind offenbar ähnlich. Daraus folgt

$$mn : RN = mL : RL$$

$$x : B = \xi : a$$

$$x = \frac{B \times \xi}{a}.$$

B kennen wir aus unserer Formel $B = \frac{\gamma'}{\gamma''}$.

Setzen wir außerdem $a = \gamma' + d$, und für ξ den eben gefundenen Wert, so erhalten wir für die Größe des umgekehrten Bildes des hypermetropischen Auges:

$$x = \frac{\gamma' \cdot \Phi}{\gamma'' (\gamma' + d - \Phi)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7a)$$

Aus dem § 15 angegebenen Grunde, wählt man die Entfernung d der Konvexlinse vom untersuchten Auge so, dass deren Brennpunkt ungefähr in die Pupillenebene fällt. Nun liegt der vereinigte Knotenpunkt des Auges nur ungefähr 3,5 mm hinter der Pupillarebene. Da es ohnehin unmöglich ist, das Konvexglas mit mathematischer Genauigkeit in einer bestimmten Entfernung vom Auge zu halten, so dürfen wir diese wenigen Millimeter wohl vernachlässigen und annehmen, der Brennpunkt der Linse falle mit dem Knotenpunkte des Auges zusammen. Dann wird also $d = \Phi$ und in der Formel (6b):

$$\xi = \frac{\Phi (\gamma' + \Phi)}{\gamma'}$$

oder

$$\xi = \frac{\Phi^2}{\gamma'} + \Phi \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6c)$$

Daraus geht hervor, dass ξ, d. h. die Entfernung des umgekehrten Bildes von der Linse, zunimmt mit der Brennweite dieser Linse, und abnimmt mit der Knotenpunkt-Netzhautdistanz des hypermetropischen Auges. Mit anderen Worten, das umgekehrte Bild liegt um so weiter von der Linse entfernt, je schwächer dieselbe und je stärker die Hypermetropie ist.

Führen wir dieselbe Vereinfachung ($d = \Phi$) in die Formel 7a ein, so erhalten wir für die Größe des umgekehrten Bildes:

$$x = \frac{\Phi}{\gamma''} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7b)$$

Dieser Ausdruck ist also ganz analog demjenigen für die Größe des umgekehrten Bildes des emmetropischen Auges.

Aus 7b folgt, dass die Größe des umgekehrten Bildes direkt proportional ist der Brennweite der dazu verwendeten Linse, und umgekehrt proportional der Knotenpunkt-Netzhautdistanz (d. h. dem Grade) des hypermetropischen Auges.

Für die gleiche Linse ist das umgekehrte Bild des hypermetropischen Auges also immer größer als das des emmetropischen, da γ'' in diesem Falle immer kleiner ist als G''.

Die Größe des Bildes nimmt zu mit dem Grade der Hypermetropie, d. h. mit der Abnahme von γ''.

Das umgekehrte Bild muss endlich, für den gleichen Grad, größer sein bei Achsen- als bei Krümmungshypermetropie, weil im ersteren Falle γ'' kleiner ist als im letzteren.

Nehmen wir, wie für das umgekehrte Bild, als Beispiel eine Hypermetropie, deren Fernpunkt um 80 mm hinter dem Knotenpunkte liegt ($\gamma' = 80$ mm), und eine Linse von 15 D. ($\Phi = 67$ mm).

Achsenhypermetropie. Für $\gamma' = 80$ mm wird γ'', in diesem Falle $= 12$ mm; also entsteht das umgekehrte Bild, nach der Formel (6c), in der Entfernung

$$\xi = \frac{67^2}{80} + 67 = 123 \text{ mm}.$$

Und, nach der Formel 7b), erhalten wir für die Größe des umgekehrten Bildes:

$$x = \frac{67}{12} = 5{,}58 \text{ mm}.$$

Krümmungshypermetropie. Für $\gamma' = 80$ mm, wird hier $\gamma'' = 14$ mm. Die Entfernung des umgekehrten Bildes ist offenbar dieselbe wie bei Achsenhypermetropie, kommt doch γ'' in der Formel für ξ nicht vor.

Wohl aber beeinflusst γ'' die Größe des umgekehrten Bildes. Dieselbe ist:

$$x = \frac{67}{14} = 4{,}71 \text{ mm}.$$

Die Berechnung konkreter Fälle bestätigt also die Folgerungen, welche wir eben im allgemeinen aus unseren Formeln gezogen haben: Das umgekehrte Bild des hypermetropischen Auges ist größer als das des emmetropischen, und das des achsenhypermetropischen größer als das des krümmungshypermetropischen.

Größe des umgekehrten Bildes des myopischen Auges.

Wir wissen, dass von dem Objekte b (Fig. 28) der Netzhaut eines myopischen Auges, auch ohne die Dazwischenkunft eines Konvexglases, in der Entfernung seines Fernpunktes R, ein umgekehrtes Bild B zu stande kommt, und dass dessen Größe ist $B = \frac{\gamma'}{\gamma''}$ (Formel 2b).

Aus früher angegebenen Gründen aber, ziehen wir es vor, das umgekehrte Bild des myopischen Auges, gerade wie das des emmetropischen und hypermetropischen, mit Hilfe eines Konvexglases zu entwerfen.

Fig. 28.

Diese Linse vereinigt die von μ kommenden, nach dem Fernpunkte R konvergierenden Strahlen schon früher, in m.

Um die Entfernung $mL = \xi$ dieses Punktes von der Linse zu finden, bedienen wir uns wiederum der Formel (6a), nur wird darin der Wert $LR = \gamma' - d$ negativ, weil sich die beiden konjugierten Punkte R und m auf derselben Seite der Linse befinden. Wir setzen also

$$\frac{1}{\xi} - \frac{1}{\gamma' - d} = \frac{1}{\Phi}$$

und erhalten daraus

$$\xi = \frac{\Phi\,(\gamma' - d)}{\gamma' + \Phi - d}.$$

Nach dieser Formel berechnet sich ξ für jede beliebige Entfernung d der Linse vom myopischen Auge. Sie ist dieselbe für jede Art der Myopie, da γ'' nicht darin vorkommt.

Lassen wir den Brennpunkt der Linse wieder mit dem Knotenpunkte des Auges zusammenfallen, d. h. setzen wir $d = \Phi$, so erhalten wir für die Entfernung des umgekehrten Bildes vom myopischen Auge folgenden einfachen Ausdruck:

$$\xi = \Phi - \frac{\Phi^2}{\gamma'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6\,d)$$

Die Größe x des umgekehrten Bildes lässt sich, da wir R und m kennen, sehr leicht konstruieren. Der Richtungsstrahl νKN verhilft uns zur Größe des Bildes B: $B = \frac{\gamma'}{\gamma''}$ (nach 2b), und der Richtungsstrahl NnL zu der Größe des Bildes x.

Die Dreiecke mnL und RNL sind offenbar ähnlich. Daraus folgt

$$x : B = mL : RL,$$

worin

$$mL = \xi, \text{ und } RL = \gamma' - d.$$

Wir erhalten also

$$x = \frac{B \cdot \xi}{\gamma' - d}$$

und, wenn wir B und ξ durch ihre obigen Ausdrücke ersetzen:

$$x = \frac{\gamma' \cdot \Phi}{\gamma''(\gamma' + \Phi - d)} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (7c,$$

Diese Formel ist gültig für jede beliebige Entfernung d der Konvexlinse vom myopischen Auge. Fällt ihr Brennpunkt jedoch wiederum mit dem Knotenpunkte des Auges zusammen, wodurch $d = \Phi$, so wird die Formel für die Größe des umgekehrten Bildes des myopischen Auges

$$x = \frac{\Phi}{\gamma''} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (7d,$$

also gerade so einfach wie die für Emmetropie und für Hypermetropie.

Die Größe des umgekehrten Bildes des myopischen Auges nimmt also, wie die des emmetropischen und des hypermetropischen, zu mit der Brennweite der Konvexlinse, und ab mit der Knotenpunkt-Netzhautdistanz.

Da aber die letztere bei Myopie immer größer ist als bei Emmetropie, und noch größer als bei Hypermetropie, so muss das umgekehrte Bild stets kleiner sein bei Myopie als bei Emmetropie und namentlich, als bei Hypermetropie.

Endlich geht noch aus der Formel für x hervor, dass, für denselben Grad von Myopie, das umgekehrte Bild kleiner ist bei Achsen- als bei Krümmungsmyopie, da im ersteren Falle γ'' größer ist als im letzteren.

Berechnen wir wiederum ein Beispiel, und zwar für eine Myopie, deren Fernpunkt 80 mm vor dem Knotenpunkte liegt ($KR = \gamma' = 80$ mm), und entwerfen wir das umgekehrte Bild mit der Konvexlinse von 15 D. Unser Φ wird also wieder $= 67$ mm.

Es falle wiederum der Brennpunkt der Linse mit dem Knotenpunkte des Auges zusammen.

Welche auch die Ursache der Myopie sei, es entsteht das umgekehrte Bild immer in derselben Entfernung von der Linse, d. h. in

$$\xi = 67 - \frac{67^2}{80} = 10{,}9 \text{ mm}.$$

Die Größe des Bildes aber ist verschieden, je nach der Ursache der Myopie.

Achsenmyopie. Ein γ' von 80 mm bedingt, wie wir gesehen haben, bei normaler Brechkraft des Auges, ein γ'' von 20 mm, also wird die Größe des umgekehrten Bildes, für $\Phi = 67$ mm,

$$x = \frac{67}{20} = 3{,}35 \text{ mm}.$$

Krümmungsmyopie. Bei normaler Länge des Auges, entspricht, wie wir ebenfalls früher schon berechnet haben, einem γ' von 80 mm, ein γ'' von 15,83 mm.

Die Größe des umgekehrten Bildes, für $\Phi = 67$ mm, wird dann also

$$x = \frac{67}{15,83} = 4,2 \text{ mm.}$$

Die Formel für die Größe des umgekehrten Bildes, $x = \frac{\Phi}{\gamma''}$, die ich schon in der ersten Ausgabe dieses Werkes angegeben habe, ist, wie man sieht, dieselbe für Emmetropie wie für Ametropie. Sie ist außerdem so einfach, dass sich, wenigstens für den weitaus häufigsten Fall der Achsenametropie, die Vergrößerung des umgekehrten Bildes aus dem Kopfe berechnen lässt.

Φ ist, wie gesagt, die Brennweite der verwendeten Konvexlinse.

γ'', bei Emmetropie $= G'' = 15$ mm; bei Achsenhypermetropie um r_i kleiner, bei Achsenmyopie um r_i größer als 15 mm.

r_i aber ist $= \frac{300 \text{ mm}}{F}$, worin F = Brennweite des im vorderen Brennpunkte stehenden Korrektionsglases.

Hat das Brillenglas z. B. eine Brechkraft von 5 D., d. h. eine Brennweite von 200 mm, so ist $r_i = \frac{300}{200} = 1,5$ mm.

Ist es ein Konvexglas, d. h. korrigiert es eine Achsenhypermetropie, so ist $\gamma'' = 15 - 1,5 = 13,5$ mm.

Ist es ein Konkavglas, d. h. korrigiert es eine Achsenmyopie, so ist $\gamma'' = 15 + 1,5 = 16,5$ mm.

Wünscht man die Vergrößerung des aufrechten Bildes mit derjenigen des umgekehrten Bildes zu vergleichen, so muss man letzteres aus einer Entfernung von 24 cm betrachten, und die Vergrößerungszahlen sind untereinander direkt vergleichbar.

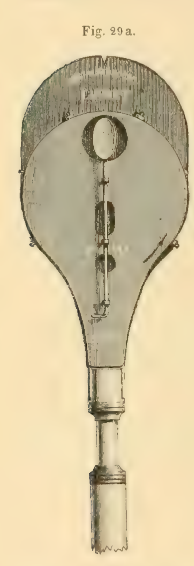
Auf diese Weise ergeben sich folgende einfache Verhältnisse:

	Umgekehrtes Bild entworfen mit + 15 D	Aufrechtes Bild	Verhältnis
Emmetropie	4,4	16	1 : 3,6
Achsenhypermetropie $\gamma' = 80$ mm	5,58	14,7	1 : 2,6
Krümmungshypermetropie (id.) .	4,71	12,6	1 : 2,6
Achsenmyopie ($\gamma' = 80$ mm) . .	3,3	24	1 : 7,2
Krümmungsmyopie (id.)	4,2	30,4	1 : 7,2

Mikrometrie des Augengrundes.

§ 13. Die Formeln, mit welchen wir eben die ophthalmoskopische Vergrößerung, d. h. das Verhältnis der Größe eines Objektes des Augengrundes zu derjenigen seines ophthalmoskopischen Bildes berechnet haben, müssen auch dazu dienen können, aus der bekannten Größe des Augenspiegelbildes die wirkliche Größe des entsprechenden Objektes abzuleiten.

Fig. 29a.



In der That handelt es sich in diesem Falle einfach um eine andere Unbekannte. — Während wir, bei der Berechnung der Größe des ophthalmoskopischen Bildes, ein bekanntes Objekt ($b = 1$) des Augengrundes voraussetzten, haben wir nun ein bekanntes Bild, und berechnen daraus das unbekannte Objekt b.

Um die Größe des Augenspiegelbildes zu kennen, müssen wir dasselbe messen.

Zur Messung des aufrechten Augenspiegelbildes habe ich im Jahre 1878 folgende Methode angegeben (Fig. 29a) (126). Auf der Rückseite des Spiegels meines Ophthalmoskopes, brachte ich ein dünnes, teilweise seines Belages befreites Planspiegelchen an. (Ein vergoldetes oder platiniertes Glasplättchen eignet sich auch dazu).

Dieser kleine Spiegel wird von einem dünnen Stiele getragen, der durch drei Ösen, in welchen er sich um seine Achse drehen lässt. mit dem Ophthalmoskope verbunden ist.

Das untere Ende dieses Stieles ist rechtwinklig abgebogen, und kommt gerade unter den Daumen des Beobachters zu liegen, so dass derselbe, durch den leisesten Druck, dem Spiegelchen jeweilen die gewünschte Neigung geben kann.

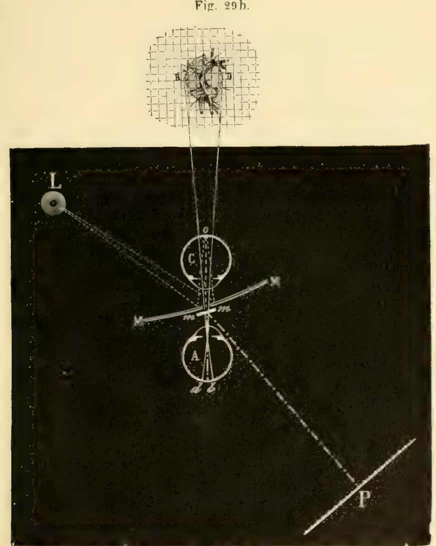
Das Spiegelchen dient nämlich dazu, während der Untersuchung im aufrechten Bilde, das Bild einer rückwärts und seitwärts vom Beobachter liegenden Koordinatenteilung in dessen Auge zu werfen. Das Bild des untersuchten Augengrundes und das der Einteilung decken sich dann im Auge des Beobachters.

Fig. 29b veranschaulicht den Hergang der Messung des aufrechten Bildes. C ist das untersuchte Auge, A das des Beobachters, L die

Lichtquelle, deren Licht, durch den Augenspiegel MM, in das untersuchte Auge geworfen wird.

Die Papille o desselben entwirft, im beobachtenden Auge A, das Bild db, welches, in eine gewisse Entfernung projiziert, den Durchmesser BD zu haben scheint. Hinter dem Spiegel MM, befindet sich das Spiegelchen mm,

Fig. 29b.



welches das Bild der Einteilung P in das Auge A wirft. Der Beobachter sieht also den Grund des Auges C von einem Koordinatensysteme durchzogen, wie es der obere Teil der Figur zeigt, und kann daran ablesen, wie viele Teilstriche desselben beispielsweise auf die Durchmesser der Papille gehen.

Es ist vorteilhaft, die Einteilung nicht schwarz auf weiß, sondern weiß auf schwarz auszuführen. So fällt auf das Bild des Augengrundes weniger fremdes Licht, und bleibt dasselbe deutlicher.

Was die Entfernung der Einteilung P vom Auge A anbelangt, so soll dieselbe nicht allzukurz sein, sondern etwa 5 m betragen. In diesem Falle kann der emmetropische Beobachter seine Akkommodation, sowohl zum deutlichen Sehen des Augengrundes, als zu demjenigen der Einteilung, entspannen. Der Adaptationszustand des Beobachters muss offenbar für beide Objekte derselbe sein, wenn sie ihm gleichzeitig deutlich erscheinen sollen. Die Anwendung unserer obigen Formeln aber setzt Akkommodationsruhe des Beobachters voraus.

Hat man auf diese Weise den Durchmesser $BD = II$ des aufrechten Bildes gemessen, so schlägt man, zur Berechnung der Größe des entsprechenden Objektes b, den umgekehrten Weg ein, den wir zur Berechnung der Vergrößerung verfolgt haben. D. h. aus der Formel (1b) deduziert man die Größe des Netzhautbildes β. — Aus β, mit Hilfe der Formel (3), den Wert von B, und aus B, mittelst der Formel (2), die gesuchte Größe b.

Nehmen wir an, das untersuchte Auge sei emmetropisch, die Einteilung befinde sich in der Entfernung $P = 5$ m, und wir haben den Durchmesser $BD = II$ der Papille beispielsweise $= 467$ mm gefunden.

In diesem Falle wird die Berechnung der wirklichen Größe b des Objektes deswegen äußerst einfach, weil hierbei das Netzhautbild β des Beobachters gleich ist dem Objekte b des Untersuchten. Wir können also, unter Anwendung der Formel (1b), schreiben:

$$b = \frac{II \cdot G''}{P},$$

worin G'' = Knotenpunkt-Netzhautdistanz des emmetropischen Auges $= 15$ mm ist.

Das Objekt b wird dann in unserem Beispiele $= 1,4$ mm.

Hat man es, wie gewöhnlich, mit Achsenametropie zu thun, und gelingt es, sich dem untersuchten Auge so stark zu nähern, dass der vordere Brennpunkt des untersuchten mit dem des beobachtenden Auges als zusammenfallend betrachtet werden kann, so lässt sich dieselbe einfache Formel zur Berechnung der Größe des Objektes b verwenden.

Eine ähnliche Methode zur Messung des aufrechten Bildes hat auch Ruete angegeben; einer anderen werden wir, bei der Beschreibung des Augenspiegels von Epkens-Donders, noch begegnen.

Zur Messung des umgekehrten Bildes entwirft man dasselbe am besten in einer inwendig geschwärzten Röhre, in welcher sich ein von horizontalen und vertikalen feinen Faden gebildetes Gitter, oder ein Planglas mit Millimeterteilung, an den Ort des umgekehrten Bildes bringen lässt (12, 86).

Es lassen sich dazu überhaupt alle die Vorrichtungen verwenden, welche gestatten, das umgekehrte Bild auf einem Schirme aufzufangen. Wir werden

denselben, bei der Bestimmung der Refraktion mittelst des umgekehrten Bildes, noch begegnen. Der Schirm braucht einfach eine Millimetereinteilung zu tragen, um auch zur Messung des umgekehrten Bildes dienen zu können.

Schneller (34) war einer der ersten, der das umgekehrte Bild zu messen versuchte. Von der Fassung der Linse, welche das umgekehrte Bild erzeugt, ließ er vier 55 mm lange, der Achse parallele, an der anderen Extremität wieder durch einen Ring verbundene Arme ausgehen. 40 mm von der Linse, wo das umgekehrte Bild zu stande kommen soll, waren die Arme von Pfeilen durchbohrt, welche, mittelst Schrauben, der Achse näher und ferner gebracht werden konnten. Ihre Spitzen waren bestimmt, die Endpunkte des zu messenden Bildes zu bezeichnen.

Kennt man den Durchmesser x des umgekehrten Bildes, so berechnet sich das entsprechende Objekt nach den oben angegebenen Formeln (5) und (7) für die Größe des umgekehrten Bildes, nur dass nun darin x bekannt, b gesucht ist.

Fällt der Brennpunkt der Konvexlinse mit dem Knotenpunkte des untersuchten Auges zusammen, so ist

$$b = \frac{x \cdot \gamma''}{\Phi}.$$

Benutzt man, zur Erzeugung des umgekehrten Bildes, eine Konvexlinse von 15 D., resp. einer Brennweite Φ von 66,6 mm, und ist das untersuchte Auge emmetropisch, so ist $\gamma'' = 15$ mm.

Findet man die Größe des umgekehrten Bildes $x = 6{,}6$ mm, so wird das entsprechende Netzhautobjekt

$$b = \frac{6{,}6 \cdot 15}{66{,}6} = 1{,}5 \text{ mm}.$$

Ist das untersuchte Auge 3 mm kürzer ($\gamma'' = 15 - 3 = 12$ mm), also so stark hypermetropisch, dass es Konvex 10, im vorderen Brennpunkte, zur Korrektion braucht, und finden wir $x = 8{,}3$ mm, so setzen wir

$$b = \frac{8{,}3 \cdot 12}{66{,}6} = 1{,}5 \text{ mm}.$$

Ist dagegen das untersuchte Auge 3 mm länger als das emmetropische, $\gamma'' = 15 + 3 = 18$ mm), welches einer Myopie, korrigiert durch Konkav 10, im vorderen Brennpunkte, entspricht, und haben wir gefunden $x = 5{,}5$ mm, so wird das entsprechende Netzhautobjekt

$$b = \frac{5{,}5 \cdot 18}{66{,}6} = 1{,}5 \text{ mm}.$$

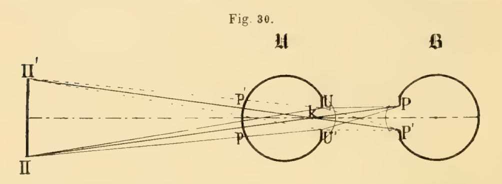
Das ophthalmoskopische Gesichts- oder Beobachtungsfeld.

Unter ophthalmoskopischem Gesichtsfeld versteht man den Teil des Augengrundes, welchen ein Beobachter zu übersehen vermag, ohne dass weder sein, noch das untersuchte Auge, seine Stellung verändert[1]).

§ 14. A. Das Gesichtsfeld des aufrechten Augenspiegelbildes. Die Ausdehnung des im aufrechten Bilde zu überschauenden Gebietes muss offenbar abhängen von der Weite der Pupille des untersuchten sowohl, wie von der des beobachtenden Auges. Ist doch die Pupille das Thor, durch welches die Lichtstrahlen aus dem Auge und in das Auge dringen, der Rahmen, in welchem das ophthalmoskopische Bild erscheint.

Um die Ausdehnung des Beobachtungsfeldes zu veranschaulichen, nehmen wir an, von den Endpunkten P und P' (Fig. 30) des Durchmessers

Fig. 30.



der Pupille des beobachtenden Auges 𝔅 — resp. von denen der Durchbohrung des Augenspiegels, welche dessen Pupille vertritt — gehen Strahlen aus, und diese Strahlen behandeln wir wie Lichtstrahlen, die das untersuchte Auge 𝔘 treffen würden[2]). Wir konstruieren das Bild, welches von PP' auf der Netzhaut des Auges 𝔘 zu stande kommen würde, und sagen uns: Von dem ganzen Gebiete, welches von PP' Lichtstrahlen erhalten kann, müssen auch, umgekehrt, Lichtstrahlen nach PP', d. h. durch die Pupille PP' in das beobachtende Auge gelangen können.

Zur Konstruktion des Bildes der Pupille des Beobachters, ziehen wir, von den Punkten P und P', durch den Knotenpunkt k des untersuchten

1) Merkwürdigerweise verwechseln manche Autoren das ophthalmoskopische Gesichtsfeld mit dem Beleuchtungsfelde. Die beiden sind jedoch voneinander ganz verschieden und unabhängig.

Das Beleuchtungsfeld ist nichts anderes als das Netzhautbild der Lichtquelle. Ist dasselbe, wie gewöhnlich, bedeutend kleiner als das Gesichtsfeld, so kann es, durch Drehung des Augenspiegels, auf dem letzteren herumgeführt werden, ohne dass deshalb von einer Erweiterung des Gesichtsfeldes gesprochen werden dürfte.

2) Unbelegte, vergoldete, platinisierte Glasplatten, sowie gewisse elektrische Augenspiegel, geben dem Beobachter eine größere Pupillenweite als durchbohrte, undurchsichtige Spiegel.

Auges, die Richtungsstrahlen Pk und $P'k$, bis nach H und H', wo das von dem dioptrischen Systeme des Auges U entworfene Bild von PP' zu stande kommen würde, wenn sich das Auge bis dorthin erstreckte. Auf dessen Netzhaut, welche den Gang der Strahlen unterbricht, entsteht von P ein Zerstreuungsbild, dessen Durchmesser wir finden, wenn wir von P die Strahlen PI' und PI'', nach den Endpunkten der Pupille $I'I''$ des Untersuchten, und von dort nach dem Bildpunkte H ziehen. Dasselbe thun wir mit den von P' ausgegangenen Strahlen. So finden wir in p und p' die Endpunkte des Gebietes, welches den von P und P' herkommenden Strahlen zugänglich ist, resp. von welchem aus noch Strahlen in die Pupille des beobachtenden Auges 𝔅 gelangen können.

Aus der Figur erhellt einmal, dass, mit der Weite der Pupille des Beobachters, auch die Ausdehnung des Beobachtungsfeldes zu- oder abnehmen muss. Mit P und P' rücken auch H und H', sowie p und p' einander näher. Sind sie einander so nahe, dass man sie als verschmolzen, die Pupille als punktförmig betrachten kann, so haben wir den Fall, den Helmholtz voraussetzt, wenn er, zur Bestimmung der Ausdehnung des Beobachtungsfeldes, die vom Mittelpunkte der Pupille des Beobachters nach dem Rande der Pupille des Untersuchten gehenden Visierlinien als Lichtstrahlen behandelt (58a).

Würde dieser Punkt mit dem vorderen Brennpunkte des untersuchten Auges zusammenfallen, so wären die davon ausgegangenen Strahlen in diesem Auge parallel, also das von ihnen eingenommene Gebiet gleichgroß wie die Pupille desselben[1]).

Ist die Entfernung der Pupille des beobachtenden von der des untersuchten Auges größer als dessen vordere Brennweite, so konvergieren die von der Pupille des ersteren ausgehend gedachten Strahlen in dem untersuchten Auge, das von ihnen bedeckte Gebiet wird also kleiner als die Pupille desselben.

Überhaupt ist leicht einzusehen, dass, mit der Annäherung an das untersuchte Auge, das Beobachtungsfeld zu-, mit der Entfernung von demselben abnehmen muss. Starke Neigung des Spiegels, komplizierte Vorrichtungen für Korrektionsgläser u. dgl., haben deshalb auf das Gesichtsfeld des aufrechten Bildes einen sehr ungünstigen, elektrische Augenspiegel dagegen, welche eine sehr große Annäherung an das untersuchte Auge gestatten, einen sehr günstigen Einfluss.

1) Schnabel (198) berechnet, dass, in diesem Falle, das ophthalmoskopische Gesichtsfeld 3—7 mm, d. h. 2—5 Papillenbreiten im Durchmesser, also bis 24 qmm Ausdehnung habe. Bei der üblichen Beleuchtung sollen $^{9}/_{10}$ dieses Feldes dunkel bleiben, da eine Flamme von 40 mm Höhe und 20 mm Breite, in 300 mm Entfernung vom Spiegel, ein Netzhautbild von nur 2 qmm gebe (vergl. auch Ulrich (146) und H. Wolff [212, 223]).

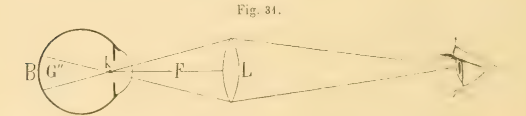
Bei den gewöhnlichen Augenspiegeln hat das Gesichtsfeld des aufrechten Bildes einen Durchmesser von ungefähr zwei Papillenbreiten. Bei der Untersuchung mit elektrischen Augenspiegeln, wie z. B. dem von H. Wolff, wird es beträchtlich ausgedehnter, da dieselben eine sehr große Annäherung an das untersuchte Auge gestatten.

Um uns den Einfluss der Pupille des untersuchten Auges auf das Beobachtungsfeld zu veranschaulichen, brauchen wir uns einfach die Punkte I' und I'' der Figur einander näher oder ferner zu denken. Im ersteren Falle werden mehr, im letzteren weniger Strahlen abgeblendet; das der Beobachtung zugängliche Gebiet wird also im ersteren Falle enger, im letzteren weiter.

§ 15. B. Das Gesichtsfeld des umgekehrten Augenspiegelbildes. Das umgekehrte Bild myopischer Augen, das ohne ein Konvexglas zu stande kommt, ist ebenfalls begrenzt von der Pupille dieses Auges. Es ist also, in erster Linie, abhängig von der Weite dieser Pupille, sodann aber auch von dem Grade der Myopie. In der That muss sich die Ausdehnung des Beobachtungsfeldes umgekehrt verhalten wie die Vergrößerung dieses Bildes. Da nun das umgekehrte Bild kleiner ist bei hochgradiger als bei schwacher Myopie, so muss das Beobachtungsfeld weiter sein im ersteren, als im letzteren Falle.

Benutzt man dagegen zur Darstellung des umgekehrten Bildes, wie gewöhnlich, ein Konvexglas, so wird die Pupille durch dasselbe vergrößert, und das umsomehr, je weiter das Glas von dem untersuchten Auge entfernt ist. Mit der Entfernung der Konvexlinse vom Auge wächst also die Ausdehnung des Beobachtungsfeldes. Fällt der Brennpunkt der Linse mit dem Mittelpunkte der Pupille zusammen, so wird das Bild derselben unendlich groß, d. h. es verschwindet ganz, und das Beobachtungsfeld ist allein begrenzt von dem Rande des Konvexglases.

Fig. 31.



Behandelt man die Visierlinien des Beobachters wie Lichtstrahlen, und lässt sie durch den Rand der Konvexlinse gehen, so werden sie sich nicht ferne von dem vorderen Knotenpunkte k des untersuchten Auges kreuzen, also ungebrochen nach dessen Netzhaut gelangen.

Bezeichnet man mit L den Durchmesser der Linse, mit B denjenigen des Beobachtungsfeldes, mit G'' die Knotenpunkt-Netzhautdistanz, und mit F die Brennweite der Linse, so ist, wie aus Fig. 31 hervorgeht:

$$\frac{B}{G''} = \frac{L}{F}$$

also:

$$B = \frac{G'' L}{F}.$$

Ist die Brennweite der Linse $F = 66$ mm (15 D.), ihr Durchmesser $L = 33$ mm, so ist:

$$B = \frac{G''}{2} = \frac{15}{2} = 7{,}5 \text{ mm}$$

für ein emmetropisches Auge (58b).

§ 16. **Die Lichtintensität, oder Helligkeit des ophthalmoskopischen Bildes** ist selbstverständlich vor allem abhängig von der **Intensität der Lichtquelle**, sodann von der **Weite der Pupille des untersuchten Auges**, für den **Beobachter** aber auch von der **Weite seiner eigenen Pupille**.

Helmholtz spricht letztere Thatsache in folgender Weise aus: »Die Menge Licht, welche von einem Flächenelemente der Netzhaut des beobachteten Auges in das Auge des Beobachters fällt, ist gleich der Helligkeit, mit der das Netzhautelement von der Lichtquelle erleuchtet wird, multipliziert mit der Menge Licht, welche von der Pupille des Beobachters, wenn sie die Helligkeit = 1 hätte, auf das Netzhautelement fallen würde« (58c).

Der Ophthalmoskopie praktischer Teil.

§ 17. Es wäre über die Theorie der Ophthalmoskopie noch sehr Vieles zu sagen, und ist auch in Helmholtz's unerschöpflichem Werke sowohl, wie in einzelnen Lehrbüchern, in dieser Hinsicht noch manches Lehrreiche zu finden, doch glaube ich, diese Erörterungen nicht weiter ausdehnen zu dürfen, und wende mich an den für die Mehrzahl der Leser wohl erwünschteren, in der Praxis sofort verwendbaren Teil.

Da stellt sich denn vor allem die Frage: Wie muss ein Ophthalmoskop beschaffen sein, um seinen Zweck, die Untersuchung des Augeninnern, am besten zu erfüllen?

Hierbei kommen nun, wie aus dem bisher Gesagten schon hervorgeht, folgende Dinge in Betracht:

1. Der Spiegel.
2. Die zur Einstellung nötigen Hilfsgläser.
3. Der Griff des Instruments.
4. Die Lichtquelle.

1. Der Spiegel.

Gleich nach Helmholtz's genialer Erfindung, versuchte man alle denkbaren Spiegel zur Beleuchtung des Augeninnern zu verwerten. Plane, konvexe, konkave Spiegel mit den verschiedensten Krümmungen, Kombinationen von ebenen und erhabenen Spiegeln mit Konvexgläsern (14, 15, 18), belegte Linsen und Menisken (20, 27, 28, 52, 54), sowie die Totalreflexion an Prismen (16, 17, 18, 42), wurden zur Ophthalmoskopie verwendet. Die meisten derselben gehören der Geschichte an. Die Praxis hat nur den ebenen und den Hohlspiegel beibehalten.

Ein praktisch brauchbares Ophthalmoskop muss denn auch einen Plan-, und mindestens einen Konkavspiegel besitzen. Dieselben können aus Metall oder aus Glas hergestellt sein. Im ersten Falle muss der Augenspiegel im Centrum durchbohrt sein; im letzteren genügt es, wenn er daselbst seines Belages beraubt ist. Planspiegel können auch vorteilhaft unbelegt zur Verwendung kommen.

Bei undurchsichtigem Material soll die Stelle zum Durchsehen nicht zu enge sein, sonst wird dadurch das Gesichtsfeld, namentlich aber die Bestimmung der Refraktion im aufrechten Bilde, sehr beeinträchtigt. Eine enge Durchbohrung des Spiegels wirkt nämlich wie eine stenopäische Öffnung, welche deutliches Sehen auch dann gestattet, wenn beobachtendes und untersuchtes Auge nicht genau aufeinander eingestellt sind.

Andererseits darf die nicht reflektierende Stelle des Spiegels auch nicht zu weit sein, weil sonst zuviel Beleuchtungslicht verloren geht.

Drei Millimeter sind ein guter Durchmesser für das Loch des Augenspiegels. Sehr wichtig ist, dass die Durchbohrung des Spiegels tadellos gearbeitet sei: scharf zugeschliffen beim Metall-, vollkommen geschwärzt beim Glasspiegel. Sonst entstehen, an den Rändern des Loches, außerordentlich störende Lichtreflexe. Manche von den neueren, billigen Augenspiegeln lassen in dieser Hinsicht sehr viel zu wünschen übrig.

Was die Größe des Spiegels anbelangt, so braucht derselbe 2 cm Durchmesser nicht zu überschreiten. Einmal ist nur das Licht der Untersuchung nützlich, das in die Pupille dringt, und nicht das, welches auf deren Umgebung fällt; sodann ist es unerlässlich, dass das Centrum des Spiegels genau vor das Centrum der Pupille des geradeaus gerichteten Auges des Beobachters, und möglichst nahe an dasselbe zu liegen komme. Dies würde nicht gelingen, wenn der Spiegel oder die damit verbundenen Teile mit Orbita und Nase des Beobachters in Kollision kämen. Angenehm ist es, wenn sie sich denselben dann gerade anfügen, wenn das Sehloch des Augenspiegels und das des Auges auf derselben Achse liegen.

a) Der Planspiegel.

§ 18. Genügt auch theoretisch eine einfache durchsichtige, aber richtig geneigte Glasplatte, um ein Auge zu beleuchten und dem von dessen Netzhaut kommenden Lichte den Durchgang zu gestatten, so würde eine solche doch in der Praxis nicht anwendbar sein. Da sie zuviel Licht durchlässt, liefert sie eben eine, zu genauer Untersuchung ganz ungenügende Beleuchtung.

Helmholtz hat denn auch, in seinem Augenspiegel, drei bis vier planparallele, unbelegte Glasplatten kombiniert, um deren reflektorische Kraft zu erhöhen. Außerdem gab er ihnen eine Neigung von 56° zu der Lichtquelle. Dadurch wird das das untersuchte Auge treffende Licht polarisiert, und damit der Hornhautreflex vermieden. Um das Maximum der Beleuchtung zu gewinnen, muss, nach F. Fuchs, der Einfallswinkel betragen: für eine Platte 70°, für drei Platten 60°, für vier Platten 56° (153, 155).

Der Hornhautreflex stört allerdings einen etwas geübten Ophthalmoskopiker kaum; dagegen stellt er der Photographie des Augengrundes ein großes Hindernis in den Weg. Die Mittel, denselben zu vermeiden oder doch abzuschwächen, sind deshalb wohl erwähnenswert.

F. Fuchs benutzt zu diesem Zwecke, als Reflektor, einen dicht vor dem untersuchten Auge stehenden Nicol, welcher ebenfalls das Beleuchtungslicht polarisiert. Das polarisierte, vom Augengrunde kommende Licht zerfällt in zwei Systeme, von denen das eine wieder nach der Lichtquelle zurückgeworfen wird, während das andere, zur Erzeugung des umgekehrten Bildes, durch eine Konvexlinse geht. Eine weitere Konvexlinse dient dem Autor zur Vergrößerung desselben.

Wie Helmholtz durch mehrere, zur Polarisation, unter einem bestimmten Winkel zusammengestellte Glasplatten, so schlägt auch Engelhardt (132) zwei solche, zur Lichtquelle unter 34½° geneigte, dem Auge möglichst nahe Glasplatten zur ophthalmoskopischen Beleuchtung vor.

Um die Reflexionskraft der ebenen Glasplatte zu erhöhen, hat Nachet dieselbe vergoldet, Schöler (159) platinisiert, und so, für gewisse Zwecke, einen sehr günstigen Reflektor gewonnen.

Für die gewöhnliche Praxis jedoch, ist ein belegter, in der Mitte seines Belages beraubter, oder durchbohrter Spiegel wohl vorzuziehen. Er ist leichter zu handhaben, und nimmt weniger Raum ein als ein Satz von Glasplatten. Letzterer Umstand hat namentlich bei der Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde seine Wichtigkeit, wo man möglichst nahe an das untersuchte Auge herangehen muss.

Am unbelegten Spiegel geht ein Teil des Beleuchtungslichtes dadurch verloren, dass es denselben durchdringt, von dem aus dem Augeninnern kommenden Lichte dadurch, dass es an der spiegelnden Fläche nach der Lichtquelle reflektiert wird.

Beim belegten Spiegel dringt, des Loches wegen, auch nicht alles Licht in das untersuchte Auge, und es geht auch hier wiederum ein Teil des von der Netzhaut kommenden, nach der Lichtquelle zurück. Nichtsdestoweniger ist die Leuchtkraft des belegten Planspiegels derjenigen des unbelegten überlegen. Sie übertrifft auch diejenige vergoldeter oder platinisierter Glasplatten.

Die Wirkungsweise des ebenen Spiegels haben wir schon (S. 9) auseinandergesetzt. Sie ist übrigens sehr einfach:

Der ebene Spiegel wirkt geradeso, als ob die Lichtquelle, um dieselbe Entfernung, in welcher sie vor ihm steht, hinter ihm, in die Gesichtslinie des untersuchten Auges gebracht worden wäre. Ist diese Entfernung 48 cm, und die Entfernung des Spiegels vom untersuchten Auge 2 cm, so würde also die Lichtquelle 48 + 2 = 50 cm vor diesem Auge stehen. Hätte dasselbe eine Myopie von 2 Dioptrien, so würde es von der Flamme ein scharfes Bild erhalten. Dies ist jedoch, wie wir gleich sehen werden, zur Augenspiegeluntersuchung durchaus nicht notwendig, ja nicht einmal wünschenswert.

Der Planspiegel liefert, bei gleicher Lichtquelle, eine weniger starke Beleuchtung, als der Konkavspiegel. Deswegen eignet er sich ganz besonders zur Untersuchung im aufrechten Bilde, und da, wo Blendung, wegen krankhaften Zustandes der inneren Augenhäute, oder wegen der dadurch bedingten Verengerung der Pupille, möglichst ausgeschlossen werden soll.

b) Hohl- oder Konkavspiegel.

§ 19. Hohlspiegel geben, da sie das Licht konzentrieren, eine stärkere Beleuchtung als ebene Spiegel. Die Art und Weise, wie sie das Licht reflektieren, haben wir S. 11 bis 16 auseinandergesetzt. Daraus geht hervor, dass die Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel, und die des letzteren vom untersuchten Auge, einen viel größeren Einfluss auf die Richtung hat, in welcher die Lichtstrahlen das Auge treffen, als beim Planspiegel. Es ist denn auch nicht nötig dem zur Ophthalmoskopie verwendeten Hohlspiegel eine ganz bestimmte Krümmung zu geben. Brennweiten von 8 bis 28 cm sind alle zulässig. Für den gewöhnlichen Gebrauch ist es wohl besser, sich innerhalb der Grenzen von 15 bis 20 cm zu halten.

Nehmen wir an, der Hohlspiegel habe 16 cm Brennweite, und die Lichtquelle befinde sich 40 cm von demselben entfernt, was etwa bei der Untersuchung im aufrechten Bilde stattfinden mag, so werden die Strahlen, nach ihrer Zurückwerfung am Spiegel, nach einem 26 cm von demselben entfernten Punkte[1] konvergieren. Steht der Spiegel 2 cm vom unter-

[1] Nach der Formel $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$.

suchten Auge entfernt, so treffen die Strahlen dasselbe mit einer Konvergenz von 26 — 2 = 24 cm. — Ein Auge von ungefähr 4 D. Hypermetropie, würde von der Lichtquelle also ein scharfes, umgekehrtes Bild erhalten (das ihm, wohlverstanden, aufrecht erscheinen, während es der Beobachter umgekehrt sehen würde). Ein stärker hypermetropisches Auge erhielte ein undeutliches Bild der Lichtquelle. In einem schwächer hypermetropischen, emmetropischen oder myopischen Auge, würden sich die Strahlen schon vor der Netzhaut vereinigen, und auf derselben würde, nach deren Wiederauseinandergehen, ein Zerstreuungsbild entstehen. Das Zerstreuungsbild ist, wie das scharfe, immer ein, in Bezug auf das Objekt, die Lichtquelle, umgekehrtes, und um so undeutlicher, je mehr sich — in unserem Beispiele — die Refraktion des Auges, im einen oder anderen Sinne, von der erforderten Hypermetropie entfernt.

Nehmen wir an, es handle sich um die Untersuchung im umgekehrten Bilde: Der Konkavspiegel, von 16 cm Brennweite, stehe 80 cm von der Lichtquelle entfernt. Dann entsteht, 20 cm vor demselben, das umgekehrte Luftbild der Lichtquelle. Halten wir eine Konvexlinse von 15 D. (ungefähr 7 cm Brennweite), 40 cm vom Spiegel, also 20 cm von dem umgekehrten Bilde entfernt, so würde sie, in 10 cm, von dem umgekehrten ein wiederum umgekehrtes, d. h. mit der Lichtquelle gleichgerichtetes, reelles Bild liefern. Da wir aber die Konvexlinse immer um ungefähr ihre Brennweite von dem untersuchten Auge entfernt halten, so käme dies Bild erst in diesem Auge zu stande, und zwar sehr weit nach vorn; da, bei einer Entfernung von 6 cm der Linse vom Auge, die Strahlen dasselbe mit einer Konvergenz von 10 — 6 = 4 cm treffen. Auf der Netzhaut entstände also — wenn nicht eine Hypermetropie von 25 D. vorhanden wäre — ein großes Zerstreuungsbild.

Jedoch auch bei dieser Untersuchungsmethode ist es ganz leicht möglich, dass das Bild der Lichtquelle sich scharf auf dem beobachteten Augengrunde abzeichne.

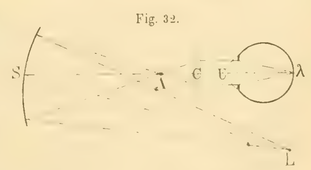


Fig. 32.

Nehmen wir an (Fig. 32), die Entfernung des Lichtes L vom Konkavspiegel S sei 48 cm und derselbe habe eine Brennweite von 16 cm. — So entsteht das umgekehrte, reelle Bild Λ der Lichtquelle 24 cm vor dem Spiegel. Unser Konvexglas C habe 7 cm Brennweite. Halten wir es um dieselbe von Λ, also um 24 + 7 = 31 cm vom Spiegel entfernt, so fällt das Bild der Lichtflamme in die Brennebene dieser Linse, und die davon ausgehenden Strahlen sind, nachdem sie dieselbe verlassen haben, parallel. So treffen sie auf das

untersuchte Auge U. Ist dasselbe emmetropisch, so werden die Strahlen auf dessen Netzhaut wieder zu einem scharfen, zum zweiten Male umgekehrten, d. h. dem Objekte gleichgerichteten Bilde λ vereinigt. Der Untersuchte wird die Lichtquelle, z. B. die Maschen des Auerbrenners, ganz scharf aber umgekehrt sehen, wie er denn alle Netzhautbilder umgekehrt nach außen projiziert.

Da nun aber das untersuchte Auge genau auf A eingestellt ist, so verfolgen die von seiner Netzhaut, z. B. von dem Punkte λ ausgehenden Strahlen, in umgekehrter Richtung, genau denselben Weg wie die von A gekommenen. Beim Austritt aus dem Auge sind sie parallel, nach ihrem Durchgang durch die Linse C, konvergieren sie nach A, wo sie von λ ein umgekehrtes, reelles Bild entwerfen. Der auf diese Entfernung (24 cm vom Spiegel) eingestellte Beobachter wird also dort nicht nur das umgekehrte Bild des Augengrundes, sondern auch das damit sich deckende, umgekehrte Bild der Lichtquelle sehen.

Bei Hypermetropie des untersuchten Auges, wäre die Entfernung AC der Linse vom umgekehrten Bilde zu verlängern, um Konvergenz, bei Myopie zu verkürzen, um Divergenz der das Auge treffenden Strahlen zu erzeugen, während die Entfernung CU der Linse vom Auge, im Interesse des ophthalmoskopischen Gesichtsfeldes, unverändert beibehalten werden könnte.

So ist es also möglich, bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde, welches auch die Refraktion des untersuchten Auges sei, auf dessen Netzhaut ein scharfes Bild der Lichtquelle zu gewinnen. Ja es lässt sich auf diese Weise sogar die Refraktion dieses Auges bestimmen. Zur Beleuchtung des Augengrundes aber hat, wie schon oben bemerkt, dieser Umstand keinen besonderen Vorteil.

Allerdings versteht es sich von selbst, dass die Beleuchtung einer Netzhautstelle um so stärker ist, von je mehr Lichtstrahlen dieselbe getroffen wird. Das scharfe Bild der Lichtquelle, worin die von jedem einzelnen Punkte ausgegangenen Strahlen auch wieder in je einem Punkte vereinigt sind, erleuchtet also die betreffende Stelle kräftiger als ein Zerstreuungsbild, worin die Strahlenkegel sozusagen von ihrer Spitze entfernt, durchschnitten sind, das Licht jedes einzelnen Punktes auf eine größere Strecke verbreitet ist. Allein die Intensität der zur Augenspiegeluntersuchung verwendeten Lichtquellen ist meistenteils groß genug, um auch in Zerstreuungsbildern, reichlich zu genügen. Bei manchen derselben wirken scharfe Bilder sehr blendend für den Untersuchten, und störend für den Untersucher.

In der That ist zur Beobachtung des Augengrundes eine gleichmäßige Beleuchtung sehr erwünscht. Ist aber, wie das meistens vorkommt, die Leuchtkraft der verschiedenen Teile der Lichtquelle z. B. einer

Lampenflamme) eine verschiedene, so macht sich die Verschiedenheit der dadurch beleuchteten Teile des Augengrundes umsomehr geltend, je schärfer das Bild ist.

Fragen wir uns doch hier auch gleich, welche Rolle das Loch des Augenspiegels bei der Beleuchtung spielt. Wir können dasselbe betrachten als ein vor dem untersuchten Auge befindliches, absolut schwarzes Objekt. Ist das untersuchte Auge darauf eingestellt, so muss von demselben ein scharfes Netzhautbild entstehen, ein Punkt, schwarz und sehr klein, da das Objekt schon sehr klein und, wenn das Auge darauf eingestellt sein soll, ziemlich weit entfernt ist. Dies punktförmige, lichtlose Netzhautbildchen wird aber von dem Zerstreuungsbilde der Lichtquelle ganz bedeckt.

Ist, umgekehrt, das Auge für das Reflexbild der Lichtquelle eingestellt, so erhält es von dem Spiegelloche nur ein diffuses, d. h. nicht sehr dunkles Bild. In der That kann, da das Reflexbild nie in der Spiegelfläche selbst liegt, nie von Lichtquelle und Spiegelloche gleichzeitig ein deutliches Bild entstehen. Das eine wird das andere immer mehr oder weniger überstrahlen. Hie und da nur beobachtet man, in der Mitte der beleuchteten Fläche, eine etwas dunklere Stelle, welche dem Zerstreuungsbilde der Spiegeldurchbohrung, oder der vom Belag befreiten Stelle, desselben entspricht.

2. Die Hilfsgläser.

§ 20. Da wir nur dann die beleuchtete Netzhaut eines Auges deutlich zu sehen im stande sind, wenn unser Auge auf die vom untersuchten Auge kommenden Strahlen genau eingestellt ist, so brauchen wir — zur Beobachtung im aufrechten Bilde — Hilfsgläser, für den Fall, dass unsere statische, vereint mit der dynamischen Refraktion, nicht zu dieser Einstellung genügen. Die ersten Augenspiegel enthielten nur eine beschränkte Anzahl solcher Gläser, weil es sich damals nur um die Betrachtung des aufrechten Bildes handelte, und die Akkommodation — wenigstens in der Jugend — die Zwischenstufen leicht ausfüllt.

Da wir aber, aus dem zur Erzeugung des aufrechten Bildes nötigen Glase, die Refraktion des untersuchten Auges genau bestimmen wollen, wobei der Ausschluss unserer Akkommodation eine Hauptbedingung ist, so brauchen wir eine viel größere Zahl von Hilfsgläsern. Dieselben müssen sich außerdem rasch und leicht wechseln, resp. vor unserem Auge vorbeiführen lassen[1]. Wir werden dieselben also nicht in eine hinter dem Spiegel angebrachte Gabel stecken, und mit der Hand wechseln, was viel zuviel Zeit in Anspruch nimmt, eine stete Änderung der Akkommodation bedingt,

[1] Die Refraktion im aufrechten Bilde mittelst eines GALILÄI'schen Fernrohres zu bestimmen, wie man versucht hat, ist, aus leicht einzusehenden Gründen, nicht empfehlenswert.

und den unmittelbaren Vergleich der mit verschiedenen Gläsern erhaltenen Deutlichkeit des Bildes nicht gestattet. Viel besser ist es, die Hilfsgläser in eine zum Spiegel excentrische Scheibe zu fassen, so dass, beim Drehen derselben, die Gläser nacheinander hinter das Spiegelloch zu liegen kommen.

Schon der Augenspiegel von Helmholtz besaß eine solche, nach ihrem Verfertiger Rekoss, benannte Scheibe. Sie enthielt vier Konvexgläser und eine leere Öffnung. Da aber so wenige Gläser damals schon ungenügend schienen, verband der Erfinder zwei solcher Scheiben, von denen jede eine leere Öffnung und vier Konkavgläser enthielt; die erste — 3 bis — 4 D., die zweite — 4,5 bis — 6,5 D. - Durch Schieben mit dem Finger, drehten sich dieselben so, dass ihre Gläser, entweder allein, oder zu zweien übereinander, die Spiegelöffnung passierten.

Nach diesem Prinzipe sind die Hilfsgläser der meisten heutigen Augenspiegel angeordnet. Die Kombination von Gläsern ist, seit der Einführung des Dioptriensystems, deswegen sehr leicht geworden, weil sich das resultierende Glas gleich aus der Addition der Nummern der kombinierten Gläser ergiebt; — wenigstens für solche, die nicht stärker sind als die in der Ophthalmoskopie zur Verwendung kommenden.

Diese Zusammenstellung der Gläser hat den bedeutenden Vorteil, dass man so ziemlich große Gläser verwenden kann. Wollte man die nötige Zahl von Gläsern in eine einzige Scheibe fassen, so bedürfte man einer zu großen Scheibe, oder man könnte nur ganz kleine Gläser verwenden. Im ersten Falle leidet die Handlichkeit des Instrumentes, im zweiten sind die Gläser schwer zu reinigen.

Couper (157) suchte, im Jahre 1884, diese Schwierigkeiten dadurch zu vermeiden, dass er 72 Korrektionsgläser, mit verschwindend dünner Fassung, einfach aneinander reihte, und, mittelst eines Zahnrades, die ganze Länge (23 cm) seines Instrumentes, wie eine Schnur ohne Ende, zweimal durchlaufen ließ. Die großen, einzeln oder zu zweien kombinierten Gläser haben dagegen den Vorteil, außer zur ophthalmoskopischen, auch zur subjektiven Optometrie verwendet werden zu können. Überhaupt lässt sich gegen die Kombination zweier Gläser zu unseren Zwecken nichts einwenden. Legt man dagegen drei oder noch mehr derselben übereinander, so machen sich schon Nachteile geltend: einmal wird, durch die Dicke solcher Gläserkombinationen, etwas Licht absorbiert; sodann ist das aus der Kombination resultierende Glas doch zu sehr verschieden von der durch die Addition der Gläsernummern erhaltenen Zahl.

Einige Autoren, wie Parent (148), Schöler (151), Uhthoff (152), Risley (175) u. a., haben, außer sphärischen, mit dem Augenspiegel auch cylindrische Gläser, zur Bestimmung des Astigmatismus, verbunden. Da dieselben aber um ihre Achse drehbar sein müssen, so wird dadurch der Mechanismus des Instrumentes nicht unbeträchtlich kompliziert.

Sollen die Korrektionsgläser ihren Zweck nicht verfehlen, so muss der Beobachter senkrecht durch dieselben hindurchschauen, sonst erhält er ein, nach Art des regelmäßigen Astigmatismus verzerrtes Bild. Das Glas wirkt stärker in dem zur Drehungsachse senkrechten, als in dem entgegengesetzten Meridiane. — Da nun der Spiegel notwendigerweise zur Gesichtslinie des Beobachters schief stehen muss, darf er offenbar der Gläserfassung nicht einfach aufgelegt, sondern muss zu derselben geneigt sein. Diese Neigung des Spiegels zu den Korrektionsgläsern kann eine konstante sein, wie in Helmholtz's Augenspiegel und in einigen neueren Instrumenten, wo sich ein solcher schiefer Spiegel in eine Fassung einführen lässt; oder der Spiegel lässt sich um eine, vor der Öffnung der Korrektionsgläser befindliche Achse, nach Bedürfnis drehen.

Hat nun die Schiefstellung des Spiegels den Vorteil, dem beobachtenden Auge den richtigen Durchblick durch das Korrektionsglas zu gestatten, so hat sie den Nachteil, dasselbe vom Spiegelloche, und somit auch von dem untersuchten Auge, zu entfernen. Um diesen Nachteil möglichst zu verringern, empfiehlt es sich, die Lichtquelle hinter dem Kopfe des Patienten, und nur so weit seitlich aufzustellen, dass deren Licht gerade noch, neben demselben vorbei, auf den Spiegel trifft. So erfordert derselbe eine möglichst geringe Neigung, und braucht nicht weit vor dem Korrektionsglase angebracht zu werden.

Noch glücklicher hat Couper diese Aufgabe gelöst: Statt die Öffnung zum Durchsehen oben an der Scheibe anzubringen, verlegt er dieselbe auf die Seite. So lässt sich der Spiegel über den Rand des Instrumentes, resp. des Korrektionsglases, ganz beträchtlich zurücklegen, während er, bei den vorher erwähnten Instrumenten, an die Gläserscheibe stößt, sobald er eine gewisse Neigung erreicht hat. Damit der Spiegel in zwei Richtungen gedreht, der Beobachter, nach Belieben, mit dem rechten oder linken Auge ophthalmoskopieren könne, lässt sich, auf beiden Seiten des Couper'schen Instrumentes, eine Öffnung zum Durchsehen benutzen. Wird der Spiegel vor die eine gedreht, so verschließt seine Fassung die andere.

Bei den zur Ophthalmoskopie verwendeten Hilfsgläsern dürfen wir nicht vergessen die Konvexlinsen, mit welchen man das umgekehrte Bild erzeugt. Jeder Augenspiegel soll deren mindestens zwei besitzen, z. B. + 15 zum gewöhnlichen Gebrauche, und eine schwächere, z. B. + 10, um eine stärkere Vergrößerung zu erzielen. Dies schwächere Konvexglas ist namentlich bei hochgradiger Myopie angezeigt. Sehr hohe Grade von Hypermetropie dagegen, wie sie namentlich durch Aphakie bedingt werden, machen umgekehrt ein stärkeres Konvexglas, 18 oder 20, wünschenswert.

Der Grund hierfür ergiebt sich aus dem oben über die Größe des umgekehrten Bildes Gesagten: Ein schwaches Konvexglas vergrößert das kleine Bild des hochgradig myopischen Auges, ein starkes verringert die der

Übersichtlichkeit hinderliche Größe des umgekehrten Bildes des hochgradig hypermetropischen Auges.

Diese Konvexlinsen können auch zur Untersuchung des Auges im auffallenden Lichte, »bei seitlicher Beleuchtung«, verwendet werden.

Die zum umgekehrten Bilde verwendeten Linsen sollen einen gewissen Durchmesser, von z. B. 3 cm, nicht überschreiten, sonst leidet ihre Aplanasie; d. h. der Unterschied ihrer Brechung im Centrum und in der Peripherie wird störend. Bei einer Linse von 40 mm Durchmesser, und 10 D. Brechung in der Mitte, ist die Brechung am Rande 10,5 D.

Gut ist es, diese Linsen mit einer Fassung zu versehen, deren Rand hoch genug ist um dieselben, wenn auf den Tisch gelegt, vor Reibung zu schützen. Außerdem verhindert die Fassung das bei der Augenspiegeluntersuchung sehr störende Beschlagen der Linse durch die Wärme der Hand.

3. Theoretisch könnte man den Augenspiegel einfach zwischen zwei Fingern halten, und so dirigieren. Es ist aber, namentlich der zur Untersuchung nötigen Korrektionsgläser wegen, zweckentsprechend, denselben mit einem Griffe zu versehen. Derselbe soll nicht allzukurz und schmächtig sein, sondern die Hand bis zu einem gewissen Grade ausfüllen.

Etliche Augenspiegel, die zur Demonstration dienen, stehen auf einem Fuße, der auf den Tisch gestellt oder an denselben geschraubt wird. Solche etwas unbeholfene Instrumente kommen jedoch in der gewöhnlichen Praxis wenig zur Verwendung.

§ 21. 4. Was die Lichtquelle anbelangt, so gebührt, nach meiner Ansicht, dem Tageslichte die Krone. Dasselbe ist allerdings nicht zu jeder Zeit erhältlich; man kann sich nicht darauf allein beschränken. Doch eignet sich das weiße Tageslicht viel besser dazu, Nuancen der Färbung, Unterschiede der Durchsichtigkeit der Gegenstände des Augeninnern zu erkennen, als das stark gefärbte künstliche Licht. Ich bin überzeugt, dass derjenige, der sich zur Untersuchung mit Tageslicht bequemen würde, nicht nur ein viel richtigeres Verständnis des Augeninnern gewinnen, sondern auch neue, diagnostische wertvolle Thatsachen zu Tage fördern würde. Selbstverständlich wird man nicht direktes Sonnenlicht in das zu untersuchende Auge werfen, sondern dasselbe durch ein mattes Glas im Fensterladen des sonst verdunkelten Zimmers abschwächen. Besser noch als das so gedämpfte, eignet sich das von Wolken zurückgeworfene Sonnenlicht, zur Augenspiegeluntersuchung. Um daraus aber wirklichen Vorteil zu ziehen, genügt es nicht, hier und da einmal ein Auge mit Tageslicht zu ophthalmoskopieren. Diese Untersuchung muss einem mindestens ebenso geläufig sein wie die mit künstlichem Lichte, wenn man das Gesehene auch richtig deuten soll.

Als künstliche Lichtquelle kann man sowohl eine ruhig brennende Öl- oder Petroleumlampe, Gas- wie elektrisches Licht verwenden. Eine einfache Kerzenflamme thut es zur Not ja auch, liefert aber eine gar geringe, unregelmäßige, unstäte Beleuchtung.

Mir ist ein Auerbrenner sehr angenehm. Sein Licht ist stark genug, nicht allzusehr gefärbt, sehr ruhig und gleichmäßig, und gestattet ein genügend großes Gebiet des Augengrundes auf einmal zu beleuchten.

Eine elektrische Schlinge zu benutzen geht nicht an. Ihr Licht ist viel zu blendend für den Untersuchten sowohl wie für den Untersucher. Außerdem sind die von deren Bilde bedeckten Teile zu stark, die benachbarten nicht genügend beleuchtet. Dies ist auch noch der Fall, wenn man die Schlinge in ein graues Glas fasst; ein mattes Glas aber, das die Form der Schlinge nicht mehr erkennen lässt, nimmt derselben zu viel Licht.

Dr. Lang in London verschaffte mir s. Z. eine sehr hübsche elektrische Lichtquelle. Dieselbe bestand in einer, zu einem Quadrate gefalteten Glühschlinge, deren Licht außerdem, durch Einschaltung eines Widerstandes, beliebig gedämpft werden konnte. Die Lichtquelle schien mir allerdings etwas klein und das Bild der, wenn auch einander sehr nahe liegenden parallelen Faden, störte mich etwas. Doch sollte es nicht schwer sein, den Apparat in zweckentsprechender Weise zu modifizieren.

Hirschberg erwähnt, in seiner Einführung in die Augenheilkunde (225), eine, wie es scheint, sehr brauchbare Lampe, die Hirschmann für ihn hergestellt hat. Birnbacher (162) benutzt dazu eine von einer tragbaren Akkumulatorenbatterie gespeiste Swan'sche Glühlampe, in einem Blechwürfel von 40 mm Seite, versehen mit einer verschiebbaren Konvexlinse von 20 D.

Der Hauptvorteil, den das elektrische Licht vor jedem anderen Lichte hat, liegt darin, dass dasselbe direkt zwischen untersuchtes und beobachtendes Auge kann eingeschaltet werden. Schützt sich das letztere durch einen Schirm gegen Blendung, so kann sogar der Spiegel entbehrlich werden. Die kleine, nur einen Teil der Pupille des Beobachters einnehmende Lichtquelle genügt, um das untersuchte Auge zu erleuchten, während der andere Teil die von demselben kommenden Strahlen aufnimmt (Schweigger 185).

Gewöhnlich wird allerdings das im Stiele des Ophthalmoskopes enthaltene Glühlicht in das untersuchte Auge reflektiert; jedoch von einem so kleinen Spiegel, dass er nur einen Teil der Pupille des Beobachters einnimmt, demselben also größte Annäherung an das untersuchte Auge gestattet (Birnbacher 163, Dennett 165, Juler 169, Schweigger 180, H. Derby 197, H. Wolff 212, 223, 224 u. a.).

Die Vorrichtungen zur elektrischen Beleuchtung des Augengrundes werden wir, bei der Beschreibung der Augenspiegel im speziellen, noch näher kennen lernen.

Man hat den Augengrund in verschiedenen Farben zur Anschauung gebracht, Engelhardt, indem er ein Spektrum in das Auge reflektierte, Neuschüler, indem er farbige Gläser hinter dem Loche des Augenspiegels vorbeiführte (218). Die Methode mag vielleicht einem damit vertrauten ein diagnostisches Hilfsmittel in die Hand geben.

Benutzt man, zur Augenspiegeluntersuchung, eine Lampe, so muss sich dieselbe höher und tiefer stellen, vorwärts und rückwärts, auf die eine wie auf die andere Seite des Patienten bringen lassen.

Aber, sowie man sich oft mit einer Kerzenflamme zur Augenspiegeluntersuchung begnügen muss, sowie einem nicht immer ein vollkommen dunkler Raum zur Verfügung steht, so wird man sich auch mit einer weniger beweglichen Lichtquelle zu helfen wissen; braucht man doch statt derselben nur den Patienten zu versetzen. Ja der richtige Augenspiegler soll mit seinem handlichen Instrumente noch ganz anderen Komplikationen gewachsen sein. Steigen wir auch nicht, mit Lindsay Johnson (228), in die Löwengrube, um die Augen wilder Tiere im aufrechten Bilde zu betrachten, so bieten uns bettlägerige, ungeberdige, mit Nystagmus behaftete Patienten, wenn auch weniger Gefahr, doch oft noch größere Schwierigkeiten als Löwen, Bären und Nilpferde.

Der Gang der Augenspiegeluntersuchung.

§ 22. Die Augenspiegeluntersuchung soll in einem möglichst verdunkelten Raume vorgenommen werden. Namentlich sollten sich hinter dem Beobachter keine leuchtenden Gegenstände befinden. Die auf den vor ihm liegenden brechenden Medien erzeugten Reflexe derselben wirken äußerst störend auf die Untersuchung. Ja ein helles Kleid des Untersuchers, namentlich der Ärmel des den Augenspiegel haltenden Armes, kann schon unangenehme Reflexe auf der untersuchten Hornhaut hervorrufen. Andererseits wird auch die objektive Refraktionsbestimmung getrübt, wenn der Untersuchte beleuchtete Gegenstände findet, die seine Aufmerksamkeit auf sich ziehen, und deren Fixation seine Akkommodation in Thätigkeit bringt.

Der Patient soll, mit geschlossenen Knieen, aufrecht vor dem Untersucher sitzen, und den Kopf gerade halten. Wünschenswert ist es, dass derselbe etwas tiefer stehe als der des Untersuchers. Diese Details sind durchaus nicht geringfügig. Einmal orientiert man sich, bei normaler Haltung des Patienten, viel rascher und sicherer in dem Augeninnern, und dann ist dabei der Patient aufmerksamer und gefügiger. Die Lampe bringt man am besten etwas hinter dem Kopfe des Patienten, auf dessen rechter Seite an, wenn man das rechte, auf der linken, wenn man das linke Auge untersucht. Gut ist es, dieselbe mit einem Schirme zu versehen, um alles andere als das gespiegelte Licht von dem Auge des Untersuchten abzuhalten.

Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde, wo man möglichst nahe an den Patienten herangehen muss, ist es empfehlenswert, zur Untersuchung des rechten Auges das rechte, zu der des linken das linke Auge zu verwenden. Auf diese Weise wird der Spiegel am wenigsten von dem Kopfe des Untersuchten beschattet. Für das umgekehrte Bild hat dies weniger Bedeutung.

Am besten beginnt man die Untersuchung so, dass man, aus ungefähr 50 cm Entfernung, mit dem Konkavspiegel, Licht auf das Auge wirft, und durch den Spiegel hindurchsieht. Damit erhält man einmal Aufschluss über die Durchsichtigkeit der brechenden Medien, und häufig auch, wie wir später eingehender auseinandersetzen werden, über den Brechzustand des Auges: Wandert, bei Bewegung des Hohlspiegels, das Licht in gleichem Sinne durch die Pupille wie über das Auge des Patienten, so hat man eine Myopie von über 2 D. vor sich. Wandert es in umgekehrtem Sinne, so ist dessen Brechzustand schwächer als 2 D. Ist keine Bewegung zu konstatieren, sondern erhellt sich die Pupille sofort in ihrer Gesamtheit, von woher auch das Licht eindringe, so ist die Refraktion des Auges ungefähr gleich 2 D.

Erhält man bei dieser einfachen Beleuchtung schon ein deutliches Bild gewisser Teile der Netzhaut (Gefäße, Papillarrand, Pigmentflecke u. s. w.), so frägt man sich, ob dasselbe ein aufrechtes oder ein umgekehrtes sei. Scheint das Bild die Bewegung unseres Kopfes mitzumachen, so ist es ein aufrechtes; bewegt es sich im umgekehrten Sinne, so ist es ein umgekehrtes. Oder: Bewegt sich das Auge des Patienten, so geht ein umgekehrtes Bild mit, während ein aufrechtes sich dem Auge entgegengesetzt bewegt.

Ein untrügliches Mittel, ein aufrechtes Bild von einem umgekehrten zu unterscheiden, besteht darin, dass man sich dem untersuchten Auge allmählich nähert. Wird dabei das Bild deutlicher, so ist es ein virtuelles, aufrechtes, *hinter* dem Untersuchten gelegenes. Derselbe ist stark hypermetropisch. — Wird dagegen das Bild immer undeutlicher, bis es ganz verschwindet, so war es ein reelles, umgekehrtes, *vor* dem Untersuchten entstandenes. Derselbe ist stark myopisch.

Nach diesem ersten Einblicke in das zu untersuchende Auge, entwerfen wir das *umgekehrte* Bild, mit Hilfe einer Konvexlinse. Wir halten dieselbe zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand, während wir den kleinen Finger leicht auf den oberen Orbitalrand des zu untersuchenden Auges legen. Strahlt dessen Pupille in vollem Glanze, so bringen wir das Konvexglas so vor dieselbe, dass dessen Achse mit unserer Gesichtslinie ungefähr zusammenfällt. (Um die störenden Reflexe von den beiden Oberflächen derselben aus dem Bereiche unserer Beobachtung zu entfernen, müssen wir sie allerdings ein wenig neigen.) Dann entfernen wir sie von dem untersuchten Auge, bis dessen Pupillarrand aus dem Gesichtsfelde verschwindet (vgl. S. 54) und wir ein möglichst großes Bereich des untersuchten

Augengrundes, im umgekehrten Bilde vor uns haben. In demselben suchen wir uns nun zu orientieren. Dazu gehen wir am besten von der Papille aus, weil dieselbe von allen Gegenständen des Augengrundes die ausgeprägteste Form, und konstanteste Größe besitzt. — Um die Papille zu finden, erinnern wir uns daran, dass der Sehnerv von innen und oben an den Augapfel herantritt, mit der Sehachse einen Winkel von ungefähr 15°, mit der Horizontalebene einen solchen von 3° bildend (66). Wir müssen also das zu untersuchende Auge ungefähr 15° nasen-, und etwas aufwärts blicken lassen, um die Eintrittsstelle des Sehnerven vor uns zu haben. Dies gelingt am einfachsten, wenn man, etwas höher als der Patient sitzend, denselben anweist, z. B. bei der Untersuchung des rechten Auges, an des Beobachters rechtem Ohre vorbei in die Ferne zu schauen.

Die Papille stellt, weil unter einem gewissen Winkel betrachtet, gewöhnlich nicht einen Kreis, sondern eine Ellipse, mit kürzerem horizontalem Durchmesser dar. — Ihre Färbung ist, auch im Normalzustande, nicht immer dieselbe: beträchtlich blasser als der übrige Augengrund, doch nicht weiß, sondern, namentlich in ihrer inneren Hälfte, rosig, eine Mischung des Rot des in ihren feinen Gefäßen cirkulierenden Blutes mit dem lichten Grau der Sehnervenfasern. — Umgrenzt wird sie gewöhnlich von einem helleren Ringe, dem Querschnitte der Sehnervenscheide entsprechend, an welchen sich häufig ein zweiter, mehr oder weniger vollständiger chorioidaler Pigmentring anschließt. Die Färbung der Papille ist aber nicht nur bedingt von der größeren oder kleineren Menge Blutes, Nervensubstanz und Bindegewebe, die sie enthält, sondern auch durch den Kontrast ihrer Farbe mit derjenigen des sie umgebenden Augengrundes. Je dunkler derselbe ist, desto blasser, je heller, desto rosiger erscheint die Papille.

Die Farbe des normalen Augengrundes ist ein ausgesprochenes Rot, wie es die unter der durchscheinenden Netzhaut liegende, blutreiche Aderhaut nicht anders erwarten lässt. Das Rot ist aber mehr oder weniger dunkel, je nach der größeren oder geringeren Pigmentierung der Epithelschicht der Netzhaut sowohl als der Aderhaut. Fehlt das Pigment, wie bei Albinos, so ist der Reflex des Augengrundes hellrot; denn neben, ja wohl auch durch die Gefäße hindurch, strahlt das Weiß der Lederhaut, und mischt sich der Farbe des Blutes bei. — In den Augen stark pigmentierter Menschen, namentlich der Neger, bedeckt das Pigment die Sklera vollständig, überwuchert sogar zum Teil die Chorioidalgefäße, und so entsteht eine oft bis zum dunkeln Braunrot gehende Farbe, neben welcher die pigmentlose Papille wie ein blasser Mond im Nachthimmel erscheint (Taf. I).

Die nebenstehende Tafel, nach Lindsay Johnson's Atlas, zeigt Papille und Makula, nebst deren nächster Umgebung, eines dunkelhaarigen Europäers. Es ist das aufrechte Bild des linken Auges.



Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig



Vom Mittelpunkte der Sehnerven geht die Centralarterie aus. Sie teilt sich gewöhnlich in der Papille schon in einen oberen und einen unteren Hauptast, von denen sich jeder, noch ehe er den Rand der Papille überschritten hat, in zwei weitere Äste spaltet, und horizontal verlaufende Zweige abgiebt (76). Diese hellroten, durch einen glänzenden Reflexstreifen bezeichneten Gefäße durchziehen, immer dünner werdend, die ganze Netzhaut, die meisten und mächtigsten nach innen, der Makula zu. — Nach demselben Mittelpunkte der Papille streben die breiten, dunkeln, weniger reflektierenden Venen. So ist es denn leicht, die Papille auch in Augen aufzufinden, denen man nicht die oben empfohlene Stellung zu geben im stande ist. Man verfolgt einfach ein Netzhautgefäß in der Richtung, in welcher es dicker wird, und kann so den Sehnerveneintritt nicht verfehlen. Da der Sehnerv um etwa 4 mm nach innen vom hinteren Pole des Auges liegt, so ist das nach außen von demselben gelegene, temporale Gefäßnetz ein bedeutenderes, als das nach der Nasenseite zu gelegene. Umsomehr fällt, in dem ersteren, das Gebiet der Makula auf, welches gar keine Gefäße enthält, von denselben sozusagen nur umkreist wird.

Um die Makula zu finden, erinnern wir uns daran, dass ihr Mittelpunkt, die Fovea centralis, der Stelle des deutlichsten Sehens entspricht. Wir brauchten also theoretisch das untersuchte Auge einfach die Mitte unseres Spiegels fixieren zu lassen, um, durch dieselbe hindurch, die Makula zu erschauen. Dies gelingt nun aber in Wirklichkeit nicht so leicht. Blickt nämlich das untersuchte Auge direkt nach dem Spiegel, so wird es durch das davon reflektirte Licht so geblendet, dass die Pupille sich aufs äußerste verengt. Sodann stört auch sehr der Hornhautreflex, welcher, bei dieser Richtung des Auges, dem Centrum der Pupille sehr nahe liegt. Ich pflege deshalb, zur Beobachtung der Makula im umgekehrten Bilde, das Auge nach meiner Nasenwurzel schauen zu lassen. So befindet es sich schon nicht fern von der erforderlichen Richtung. Die vollkommenere Einstellung gelingt dann dadurch, dass man das Konvexglas leicht in der Richtung der Schläfe des Untersuchten bewegt. Damit befreit man sich auch von dem Hornhautreflexe, welcher sich, da er aufrecht ist, in entgegengesetzter Richtung bewegt wie das umgekehrte Netzhautbild.

Die Makula stellt gewöhnlich einen etwas dunkleren, kreisförmigen, oder horizontal elliptischen Fleck dar, dessen Mittelpunkt durch einen noch dunkleren, braunroten, oder dunkelbraunen Punkt bezeichnet ist.

Nur bei jungen Individuen, bis etwa zum 35. Jahre, lässt sich die Grenze der Makula an einem hellen Streifen erkennen. Derselbe entspricht, nach Lindsay Johnson (195, 196), der Stelle, wo die Netzhaut muldenförmig zur Makula absteigt. An dieser Knickung wird das vom Spiegel in das Auge geworfene Licht reflektiert. Der Beweis dafür liegt schon darin, dass sich, mit der Bewegung des Spiegels, auch der Makularring bewegt. Dass,

mit zunehmendem Alter, auch dieser schöne Schein verloren geht, liegt daran, dass sich, mit dem Alter, die Niveaudifferenz zwischen Makula und übriger Netzhaut ausgleicht, die Knickung weniger scharf wird.

Auch an der Fossa centralis, dem Netzhautgrübchen, lässt sich, nach demselben Autor, im umgekehrten Bilde, ein Reflex wahrnehmen.

Ähnliche Reflexe wie vom Rande der Makula und der Netzhautgrube beobachtet man auch wohl hier und da im Verlaufe der Gefäße, oder bei anderen, leichten Unebenheiten der Netzhaut[1]).

Haben wir Papille, Makula, und mit ihnen den ganzen hinteren Pol des Auges betrachtet, so durchforschen wir den Rest der Netzhaut in allen Richtungen soweit es möglich ist. Dazu lassen wir am besten das untersuchte Auge und, wenn es nötig ist, selbst den Kopf des Patienten sich drehen, bis wir aus der perspektivisch verschmälerten Pupille kein Licht mehr erhalten.

Auch so sind wir allerdings noch nicht bis an die Grenze der Netzhaut gelangt. Dieselbe ist etwa 5,5 mm, der äußerste Teil des Augengrundes aber, von dem man noch Licht erhält, ungefähr 8 mm vom Hornhautrande entfernt (123, 177, 219). Dies letzte Licht, das unter einem Winkel von 80° aus dem Auge dringt, genügt nicht mehr zu einer genauen Erforschung dieser Zone.

Nach Groenouw (177) erstreckt sich das mit dem Augenspiegel zu übersehende Gebiet der Netzhaut, von der Fossa centralis aus, in jeder Richtung, über ungefähr 22,5 mm, in einem Meridiane also über 45 mm, d. h. etwa 30 Papillendurchmesser.

Hat man sich so ein übersichtliches Bild des Augengrundes verschafft — wobei man gut thut, auch das andere Auge zum Vergleich herbeizuziehen — so geht man an die Betrachtung der Einzelheiten desselben, mittelst der stärkeren Vergrößerung, welche das aufrechte Bild gewährt.

Wie schon gesagt, kann uns dazu der gleiche Konkavspiegel dienen. Häufig jedoch ist es besser, für das aufrechte Bild, den lichtschwächeren, weniger blendenden Planspiegel zu verwenden.

Um ein möglichst großes Gesichtsfeld zu gewinnen — eventuell auch die Refraktion möglichst genau zu bestimmen —, müssen wir dabei möglichst nahe an das untersuchte Auge herangehen. Auch zu diesem Zwecke empfiehlt es sich, wie behufs günstigerer Beleuchtung, das rechte Auge mit dem rechten, das linke mit dem linken zu spiegeln.

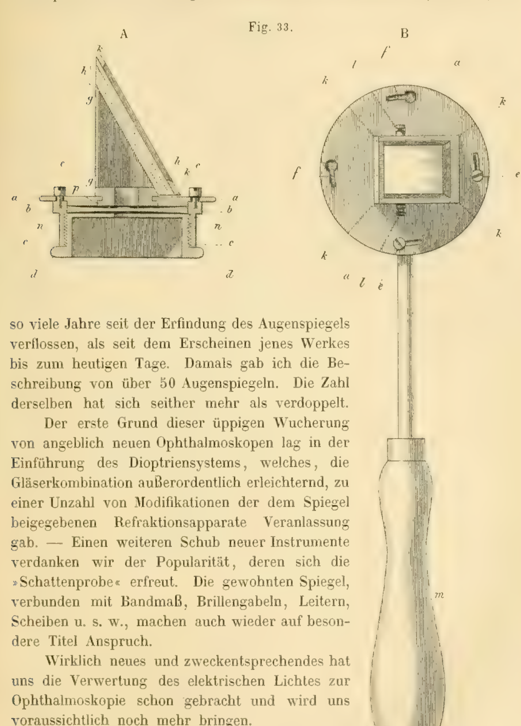
Der Gang der Untersuchung ist derselbe wie im umgekehrten Bilde: Erst betrachtet man die Papille, dann die Makula mit den umliegenden, dann die excentrischen Teile des Augengrundes.

1) Betreffend die Reflexe der Gefäße, der Makula u. s. w. vgl. Litteraturverzeichnis: 85, 140, 144, 160, 162, 178, 186, 187, 188, 191, 195, 196.

Von den Augenspiegeln im speziellen.

§ 23. Als ich, vor mehr denn einem Vierteljahrhundert, die Ophthalmoskopie für die erste Ausgabe dieses Handbuches bearbeitete, waren gerade

Fig. 33.



so viele Jahre seit der Erfindung des Augenspiegels verflossen, als seit dem Erscheinen jenes Werkes bis zum heutigen Tage. Damals gab ich die Beschreibung von über 50 Augenspiegeln. Die Zahl derselben hat sich seither mehr als verdoppelt.

Der erste Grund dieser üppigen Wucherung von angeblich neuen Ophthalmoskopen lag in der Einführung des Dioptriensystems, welches, die Gläserkombination außerordentlich erleichternd, zu einer Unzahl von Modifikationen der dem Spiegel beigegebenen Refraktionsapparate Veranlassung gab. — Einen weiteren Schub neuer Instrumente verdanken wir der Popularität, deren sich die »Schattenprobe« erfreut. Die gewohnten Spiegel, verbunden mit Bandmaß, Brillengabeln, Leitern, Scheiben u. s. w., machen auch wieder auf besondere Titel Anspruch.

Wirklich neues und zweckentsprechendes hat uns die Verwertung des elektrischen Lichtes zur Ophthalmoskopie schon gebracht und wird uns voraussichtlich noch mehr bringen.

Da wir aber weder dem Veralteten, noch dem Unreifen, noch allen, wenn auch brauchbaren

Modifikationen des Augenspiegels, die Zeit unserer Leser und den Raum dieses Werkes opfern dürfen, so sei es uns gestattet, von den veröffentlichten Instrumenten nur diejenigen anzuführen, welche besondere Vorteile besitzen, oder als Typen einer ganzen Klasse dienen können. Die übrigen, so vieler wir bei gewissenhaften Nachforschungen haben habhaft werden können, werden wir im Litteraturverzeichnis unterbringen.

In erster Linie geben wir die Abbildung des ersten Ophthalmoskopes, wie sie Helmholtz selbst, im Jahre 1851, für die »Beschreibung seines Augenspiegels« gezeichnet hat (Fig. 33).

Nach allem, was wir über dies Instrument schon gesagt haben, wird sich der Leser in den beiden Figuren leicht zurecht finden. In dem Durchschnitte (A) sehen wir den Satz der, unter 56° zur Einfallsrichtung der Lichtstrahlen geneigten Glasplatten *hh*, dahinter, in *bb*, ein Konkavglas, welches jedoch, mittelst Umschraubens des cylindrischen Stückes *dd*, durch andere Korrektionsgläser ersetzt werden konnte.

Bald nach diesem ersten Modelle, konstruierte Helmholtz ein zweites, bei welchem der Wechsel der Korrektionsgläser durch die schon erwähnte Rekoss'sche Scheibe vorgenommen wurde. Das Okularstück *dd*, sowie alle inneren Teile des Instrumentes, mit Ausnahme der spiegelnden Platten, waren sorgfältig geschwärzt.

Fig. B stellt das Instrument mit seinem Handgriffe, von der Seite des Untersuchten gesehen, dar (10, 13).

Einer der ersten, welcher Helmholtz's Erfindung der Augenheilkunde nutzbar machte, war E. v. Jäger (27). Er war nicht nur ein vortrefflicher Beobachter und ausgezeichneter Lehrer der Kunst des Augenspiegelns, sondern er machte seine Beobachtungen auch den mit dem Instrumente nicht Vertrauten, durch seinen wundervollen, selbst heute noch kaum übertroffenen Atlas zugänglich.

v. Jäger's Augenspiegel besteht aus einer kurzen, cylindrischen, an einem Ende unter einem Winkel von 60° abgeschnittenen Röhre, die sich in einem Metallringe um ihre Achse drehen lässt. Der Ring ist mit dem Stiele des Instrumentes fest verbunden.

Das schiefe Ende der Röhre wird dem Untersuchten zugekehrt. Es enthält den durchbohrten Plan- oder Konkavspiegel, das andere, dem Beobachter zugewendete Ende, die Korrektionsgläser, die mit der Hand eingesetzt werden müssen. Zwischen beiden befindet sich eine central durchbohrte Blende. Statt eines einfachen Glases, kann man über das Rohr eine Fassung mit einer starken Konvexlinse, oder zwei Plankonvexlinsen, oder das Objektiv einer Brücke'schen Lupe schieben, so dass das Instrument zu einer Lupe wird, und zur Beobachtung der vorderen Teile des Auges dienen kann.

Als Augenspiegel hat es den Nachteil, dass das beobachtende und das beobachtete Auge sehr weit voneinander entfernt sind.

Unter denen, die den Konkavspiegel in die Ophthalmoskopie eingeführt haben, ist besonders auch Ruete zu nennen (12). Sein Handaugenspiegel hatte 40 mm Durchmesser und etwa 14 cm Brennweite. Dahinter befand sich eine Fassung für Korrektionsgläser und darunter, an dem metallenen Handgriffe, ein beweglicher Arm, einen Schirm zur Schwächung des Lichtes tragend.

Ruete's Demonstrationsaugenspiegel werden wir später begegnen.

Einen sehr handlichen, und, seiner Zeit, weit verbreiteten Augenspiegel konstruierte Liebreich (39, 40, 45). Er bestand in einem metallenen, später gläsernen, durchbohrten, von einem Stiele getragenen Konkavspiegel, hinter welchem eine Gabel zur Einführung der Korrektionsgläser angebracht war. Das Etui enthielt außerdem zwei Konvexlinsen, von 13 und von 20 Dioptrien. Der Wechsel der Korrektionsgläser war bei dieser Einrichtung äußerst schwerfällig. Nicht ohne Grauen denke ich der Mühe, die mir, bei meinen Untersuchungen über den Abstand zwischen Makula und Optikus, in den siebziger Jahren, die genaue Refraktionsbestimmung an hunderten von Augen mit diesem Instrumente gekostet hat (66). Helmholtz's und Stellwag von Carion's (23, 31) Augenspiegel enthielten allerdings schon Rekoss'sche Scheiben, doch war ersterer der Börse des jungen Praktikers weniger zugänglich, und die Zahl (8) der Korrektionsgläser in letzterem zu gering.

H. Cohn (79) brachte 24 Korrektionsgläser in einer wohl etwas zu großen Scheibe von 8 cm Durchmesser an, de Wecker (78) dieselbe Zahl in einer solchen von nur 31 mm Durchmesser. Die Gläser werden aber dadurch zu klein (3,5 mm Durchmesser).

Loring's Instrument (63, 87, 117) enthält drei Gläserscheiben von 35 mm Durchmesser, mit je 8 Nummern von 6 mm Durchmesser, welche separat hinter dem Konkavspiegel eingesetzt werden können.

Ähnlich wie Loring, hat auch Schnabel (67, 80) seinem Spiegel drei getrennte Scheiben mit je 13 Gläsern beigegeben.

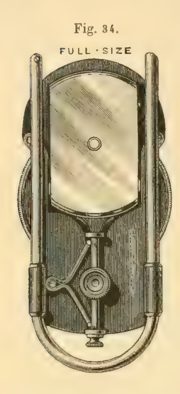
Hirschberg (122, 225) wählt zwei Scheiben von 32 mm Durchmesser, mit je 13 Gläsern von 6 mm Durchmesser.

Dieselben haben, in Zollmaß ausgedrückt, folgende Brennweiten: + 80", + 40", + 24", + 20", + 13", + 10", — 80", — 40", — 24", — 13", — 10". Eine billigere Ausgabe dieses Ophthalmoskopes enthält nur eine Scheibe mit 13 Hilfsgläsern: 0 und die folgenden Nummern des alten Systems: Konvex 40, 20, 10, 6; Konkav 40, 20, 13, 10, 8, 6, 4 und 3; außerdem + 3", + 2" und — 2", welche in die Fassung des Hohlspiegels eingeführt werden können, ein größeres + 2" und ein + 3", für das umgekehrte Bild.

Unter dem Namen: »The Student's ophthalmoskope«, hat W. Jessop einen sehr handlichen Augenspiegel angegeben. Fig. 34 stellt denselben in

natürlicher Größe dar. Die beiden, bogenförmig verbundenen Metallstäbe werden, beim Gebrauche des Instrumentes, ausgezogen und bilden dessen Stiel. Außerdem lässt sich der Konkavspiegel, an dem in der Figur sichtbaren Knopfe, von der Gläserscheibe abheben, so dass er um die vertikale Achse genügend drehbar wird. Die Scheibe enthält, außer der leeren Öffnung, 11 Gläser. Als Emmetrope habe ich dazu gewählt: Konvex und Konkav 0,5; 1; 2; 3; 4; und Konkav 6. Eine Konvexlinse, zur Beobachtung im umgekehrten Bilde, fehlt dem Instrumente, in seiner allzu konzisen Form. Man lasse sich + 15 D. dazu geben, und, mit dem Ophthalmoskope, in ein Etui fassen, das in jede Westentasche geht (175).

Fig. 34.



Wie schon gesagt, hat es, wenigstens für die höheren Nummern, einen Vorteil, durch ein einziges Glas zu schauen; doch haben die dafür eingerichteten Augenspiegel auch ihre Nachteile. Man zieht ihnen deshalb gewöhnlich solche vor, welche die Kombination von zwei Gläsern gestatten.

Schon Helmholtz hat, wie wir oben gesehen, eine derartige Einrichtung, bestehend aus der Zusammensetzung zweier konzentrischer Rekoss'scher Scheiben, benutzt. Seit Einführung der Dioptrie, hat diese Art der Gläserkombination eine sehr große Ausdehnung gewonnen.

So hat z. B. Knapp (77, 87, 98), auf der Achse des Ophthalmoskopes, zwei isoliert drehbare Scheiben angebracht, die zwar nicht konzentrisch sind, sondern sich um einen Gläserdurchmesser überragen, so dass sich jeweilen ein Glas der einen mit einem der anderen deckt. Die eine Scheibe enthält, außer einer leeren Öffnung, 12 Konvex-, die andere 12 Konkavgläser. Es sind die alten Nummern: 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20, 24, 36 und 48. Später ist der Autor wieder auf eine einzige Scheibe, mit 32 Korrektionsgläsern, und einer freien Öffnung zurückgegangen (+ und — 0,5, 0,75, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 6, 7,5, 9, 12 und 18 D.).

de Wecker's Augenspiegel (78, 114) enthält einmal, in einer Scheibe von 48 mm Durchmesser, eine leere Öffnung und 20 Konvexgläser von 5 mm Durchmesser (+ 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5 und 10). Die gleiche Serie konkaver Wirkungen erhält er durch das Vorsetzen einer Konkavlinse von 10,5 D.

Ein zweiter Augenspiegel von Loring (127) enthält nur eine Scheibe, von 43 mm Durchmesser und, außer 0, sieben Konkavgläser (+ 1 bis + 7 und acht Konkavgläser — 1 bis — 8) mit 6 mm Durchmesser.

Außerdem ist an dem Instrumente, konzentrisch mit der Scheibe, ein Quadrant befestigt, der die Gläser + 16, — 16, + 0,5 und — 5 enthält. Dieselben lassen sich vor die Spiegelöffnung drehen, und mit den Gläsern der Scheibe kombinieren. Man erhält so eine fortlaufende Serie bis + 23 und — 24 D., mit einem Intervalle von einer, und einem solchen von einer halben Dioptrie bis + 8 und — 9.

Die Scheibe trägt in konzentrischen Kreisen angeordnete Zahlen. Die Zahlen des äußeren Kreises, entsprechen den Nummern der einfachen Gläser, die des inneren, denjenigen der aus der Kombination resultierenden, bis auf + 15 und — 16. Die höheren Nummern sind auf dem Instrumente nicht angegeben, man muss sie jeweilen, durch Addition der Zahlen der Scheibe mit 16, berechnen.

Auch de Wecker hat später das Prinzip der zwei übereinander drehbaren Gläserscheiben angenommen. Beide haben 37 mm Durchmesser, und enthalten, außer der freien Öffnung, elf Gläser von 6 mm Durchmesser, und zwar: + und — 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15 und 20. Auch hier ist die aus der Kombination resultierende Wirkung auf dem Instrumente nicht angegeben. Sie muss ausgerechnet werden.

In Morton's Augenspiegel (160) sind die Hilfslinsen nach dem oben erwähnten, Couper'schen Prinzipe angeordnet. Er enthält: Konvex 0,5; dann alle Nummern, von + 1 bis + 8, mit einem Intervall von 1 D.; endlich + 10 und + 12; ferner Konkav: 0,5, 1 und 1,5, alle ganzen Nummern von — 2 bis — 10, und die von — 10 bis — 20, mit einem Intervall von 2 D., endlich — 30 D.

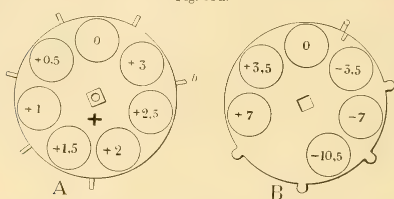
Die Verschiebung der Linsen geschieht mit Hilfe einer, vom Handgriffe des Spiegels aus bequem zu erreichenden, gezahnten Scheibe. Darüber ist eine zweite Scheibe angebracht, auf der die Nummer der vorliegenden Linse zu ersehen ist, und endlich noch eine dritte Scheibe, enthaltend die Nummern + 0,5, + 20, — 10 und — 50. Auf der vom Beobachter abgewandten Seite, sind 3 Spiegel angebracht, ein Plan- und ein Hohlspiegel, in derselben Fassung, mit den belegten Seiten aneinander liegend, und je nach Bedürfnis durch eine Feder einzustellen, sowie ein kleinerer, zur Ebene des Instrumentes schiefstehender, drehbarer Spiegel für das aufrechte Bild.

In E. Landolt's Augenspiegel (115b) erhält man 42 verschiedene Korrektionsgläser durch folgende Zusammenstellung: Von den konzentrisch übereinander drehbaren Scheiben A und B (Fig. 35a), enthält die eine (A), außer einer leeren Öffnung, die Konvexgläser: 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 und 3; die andere (B), außer der Öffnung, Konvex 3,5 und 7; Konkav 3, 5,7 und 10,5.

Sind die Scheiben so gestellt, dass ihre beiden leeren Öffnungen sich hinter dem Spiegelloche decken, so ist die Scheibe B fixiert, während sich A mittelst Fingerdruckes auf die daran befindlichen Zäpfchen, sechsmal herumdrehen lässt. Dabei passieren also vor dem Auge die konvexen Nummern

0,5 bis und mit 3. — Versucht der Finger weiter zu drehen, was ein nochmaliges Erscheinen der gleichen Nummern zur Folge hätte, so findet er kein Zäpfchen mehr, sondern nur einen der kurzen, der Scheibe B angehörigen Knöpfe. Führt er denselben bis zum nächsten Einschnappen, so dreht sich mit B auch die Scheibe A, deren leere Öffnung mit dem + 3,5 der Scheibe B vor das Auge zu stehen kommt. Nun findet der Finger wieder die Zäpfchen der Scheibe A, mit welcher er, vor dem feststehenden + 3,5, die Serie von A vorbeiführt, und damit die konvexen Nummern 3,5 bis und mit 6,5 erzeugt. Nach 6,5 fällt wieder der eine Zapfen von A aus, und dreht der Finger, an dem Haken von B, der nun an der, in Fig. b, mit 3,5 bis 6,5 bezeichneten Stelle steht. das + 7 der Scheibe B vor die Spiegelöffnung. Dies + 7 giebt, mit den Gläsern der Scheibe A, die konkaven

Fig. 35 a.

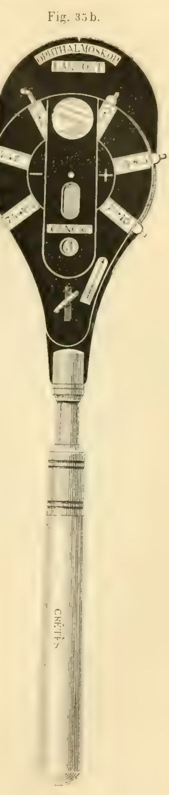


Nummern bis 10. — Kurz, wir erhalten alle Konvexgläser von 0 bis 10, mit einem Intervalle von 0,5 D., und das während der Haken der Scheibe B auf der mit + bezeichneten Seite des Ophthalmoskopes steht.

Wünscht man Konkavgläser, so wird der Haken auf die mit — bezeichnete Seite gebracht, wie in Fig. b. Dann kommt eines der drei Konkavgläser der Scheibe B vor die Spiegelöffnung zu liegen, und zwar — 3,5, wenn sich der Haken an der, in Fig. b mit — 0,5 bis 3,5 bezeichneten Stelle befindet. In der That ergeben sich dann, aus der Kombination des — 3,5 mit den Konvexgläsern und dem 0 der Scheibe A, die konkaven Nummern von 0,5 bis 3,5. Am Ende dieser Serie angelangt, mangelt dem, diesmal aufwärts schiebenden Finger, wieder der Zapfen von A, so dass er angewiesen ist, an dem sich darbietenden Knopfe der Scheibe B zu drücken. Damit drehen sich beide Scheiben und rückt die Kombination von + 3 mit — 7 vor die Öffnung, und der Haken an die mit — 4 bis 7 bezeichnete Stelle. In der That, erhalten wir, durch weitere Drehung von B, nun die konkaven Nummern 4 bis 7, und in gleicher Weise, bei noch weiterer Drehung Haken auf der letzten Stufe der Minushälfte des Instrumentes

Konkav 7,5 bis 10,5. Unser Augenspiegel ergiebt also, außer 0, 20 konvexe und 21 konkave Nummern, mit einem Intervalle von einer halben Dioptrie.

Fig. 35 b.



Dasselbe lässt sich nun auch mit manchen anderen Augenspiegeln erzielen; ein Vorteil aber, der dem unsrigen allein eigen ist, ist der, dass, dank einer besonderen Vorrichtung, jeweilen nur die Nummer sichtbar wird, welche dem eingestellten Glase entspricht, möge dasselbe einfach oder kombiniert sein, während alle anderen Nummern aus den dazu bestimmten Öffnungen verschwinden. Ob das Glas konkav oder konvex ist, lässt sich aus der darunter, resp. darüber stehenden Aufschrift ersehen (Fig. b). Die Nummern der Konvexgläser treten auf der der Figur b entgegengesetzten Seite des Instrumentes zu Tage, während dann die Öffnungen der konkaven Seite schwarz erscheinen. So kann auch ein mit dem Instrumente nicht Vertrauter nie im Zweifel darüber sein, was für ein Glas hinter der Spiegelöffnung steht.

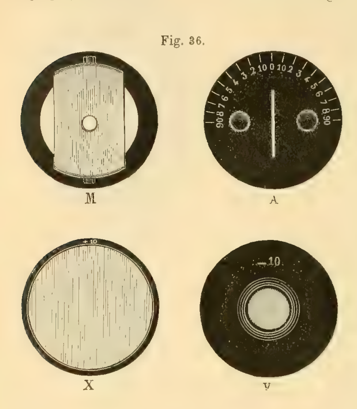
Die Handhabung des Refraktionsapparates ist übrigens, wie aus dem eben Gesagten hervorgeht, äußerst einfach. Um konvexe Nummern zu erhalten, bringen wir den Haken auf die rechte, + Seite des Instrumentes; um konkave zu erhalten, auf die entgegengesetzte — Seite, und zwar an die Stelle, welche die gewünschte Nummer enthält. Ist sie dabei nicht zufällig gleich eingestellt, so giebt der Pfeil an, in welcher Richtung man zu drehen hat, um stärkere Nummern zu erhalten; im umgekehrten Sinne nehmen die Nummern ab.

Die Gläser dieses Augenspiegels sind plansphärisch und mit der flachen Seite gegeneinander gewendet. Sie haben nicht weniger als 10 mm Durchmesser, und lassen sich deshalb nicht nur leicht reinigen, sondern auch zur subjektiven Refraktionsbestimmung verwenden.

Das Instrument enthält einen planen, und einen schief zu stellenden konkaven Spiegel (M Fig. 36), eine Konvexlinse von 10 und eine von 15 Dioptrien, zur Untersuchung im umgekehrten Bilde.

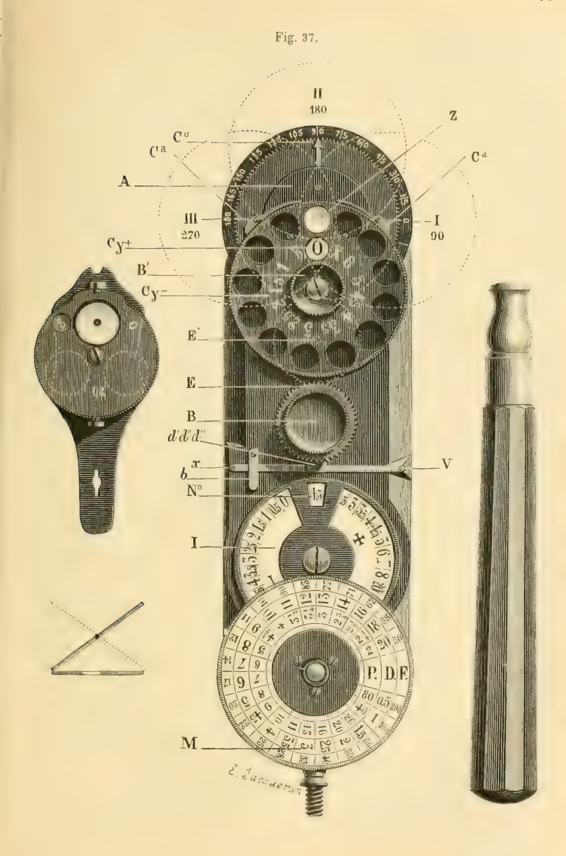
Zur subjektiven Refraktionsbestimmung, entfernt man den Spiegel, und dreht die Gläser vor dem Auge des Patienten. Bedarf man stärkerer Gläser, als die in den zwei Scheiben enthaltenen, so stellt man, an die Stelle des Spiegels, das Konvex 10, dessen Fassung gerade in die des Spiegels passt (X Fig. 36). Auch ein Konkav 10 ist dem Instrumente beigegeben, das, weil von geringer Ausdehnung, auch nur eine geringe Dicke hat (V Fig. 36). Die aus der Kombination dieser Linsen mit denen des Ophthalmoskopes resultierenden Wirkungen, ergeben sich aus der Addition von 10 mit der am Augenspiegel abzulesenden Zahl. — Wir haben schon früher gesagt und werden auch später noch darauf zurückkommen, dass ein einfaches Glas der Kombination von mehreren vorzuziehen ist. So kann denn auch ein Ophthalmoskop wie das unsrige den Brillenkasten nicht ersetzen. Es thut uns aber nichtsdestoweniger gute Dienste da, wo wir den Brillenkasten nicht mitführen können.

Fig. 36.



Ja selbst der Astigmatismus lässt sich damit bestimmen. Ist man nämlich an der Grenze der mit einem sphärischen Glase erhältlichen Sehschärfe angelangt, so lässt man den Patienten an einer Strahlenfigur die Linie angeben, welche ihm am deutlichsten erscheint. Es sei dies die 20° temporalwärts geneigte, so wissen wir, dass das gefundene Glas den darauf senkrechten, 70° nasalwärts geneigten Meridian korrigiert, während der der Linie gleich gerichtete nicht korrigiert ist. Wir setzen nun einfach in die Spiegelfassung das dem Instrumente beigegebene Diaphragma Fig. 36 A und geben der Spalte desselben die erforderte Richtung (20° t in unserem Beispiele). Dazu dient die Einteilung des Diaphragmas und die den senkrechten Meridian bezeichnende Marke des Ophthalmoskopes. So hat man den nicht

Fig. 37.



korrigierten Meridian isoliert, und bestimmt dessen Refraktion in gewohnter Weise, mit Hilfe der Gläser und der Sehschärfe.

Sollte das Intervall einer halben Dioptrie zu gering erscheinen, so ist es leicht, das Ophthalmoskop mit doppelt so starken Gläsern zu versehen. Der Unterschied zwischen je zwei Nummern wird dann eine Dioptrie, und, statt bis auf 10 und 10,5, geht die Serie dann bis auf 20 und 21 Dioptrien.

Ein in Beziehung auf Gläser und Spiegelzahl ganz besonders reicher, aber, wie schon aus der Abbildung (Fig. 37) hervorgeht, zum Gebrauche nicht gerade einfacher Augenspiegel, ist der von H. Parent (148, 184).

Derselbe enthält einmal, außer der leeren Öffnung, 35 sphärische Gläser, 20 konkave (0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 und 16) und 15 konvexe (0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 6, 7, 8, 9, 10), welche, nach Couper's Methode, den flachen Körper des Instrumentes durchlaufend, die Öffnung Z passieren. Ihre Nummern erscheinen in der Öffnung N^o, rot für die konvexen, schwarz für die konkaven. Ihre Zahl kann durch Zusatz der gleich zu erwähnenden positiven und negativen Gläser von 10 D. noch erhöht werden. Sie haben 8 mm Durchmesser.

Außerdem enthält Parent's Instrument aber auch Cylindergläser. Sie sind gefasst in die sich deckenden Scheiben $Cy-$ und $Cy+$, welche durch das um das Centrum Z sich drehende Zahnrad A in Bewegung gesetzt werden.

Die Scheibe $Cy-$ enthält die negativen Cylinder 0,5 bis 6, und sphärisch Konvex 10; die Scheibe $Cy+$ die positiven Cylinder 0,5 bis 6, und sphärisch Konkav 10.

Die Scheibe $Cy-$ wird dadurch in Bewegung gesetzt, dass man mit dem Zeigefinger auf deren gezahnten Rand, und mit dem Daumen gleichzeitig auf den Knopf B drückt. Zur Drehung der darunter liegenden Scheibe $Cy+$ (nur in 0 der Figur sichtbar), dient der zwischen Daumen und Zeigefinger zu fassende Knopf B'.

Die Richtung der Cylinderachsen wird bewerkstelligt mittelst des Knopfes B, welcher die Zahnräder E, E' und A in Bewegung setzt. Damit können die Cylinder eine volle Umdrehung von 360° erfahren, wie die punktierten Kreise I, II, III und IV andeuten.

Die Achsen der konkaven und konvexen Cylinder stehen zu einander senkrecht. Die Richtung der ersteren ist angegeben durch die Striche C^a, die der letzteren durch den Pfeil C^o.

Beim Nichtgebrauche hindert die in das Zahnrad B eingreifende Feder V die Drehung derselben. Um es frei zu geben, drückt man von hinten her auf das Ende x.

Das Hauptbewegungsrad M trägt drei konzentrische Ringe von Zahlen. Die inneren (P) entsprechen Zollen, die mittleren (D) Dioptrien, die äußeren (F) Millimetern.

Das Instrument enthält, in dem abnehmbaren, in Fig. 37 besonders dargestellten Stücke, drei Spiegel, einen planen, und zwei konkave von 8 cm und 20 cm Brennweite, die sich, wie aus der Figur ersichtlich, vor die Öffnung Z drehen lassen.

Zur Bestimmung der Nummer eines Brillenglases, wird dasselbe in eine Klammer eingeführt, welche sich, statt des Spiegels, an dem Instrumente befestigen, und so mit den Gläsern desselben vergleichen lässt.

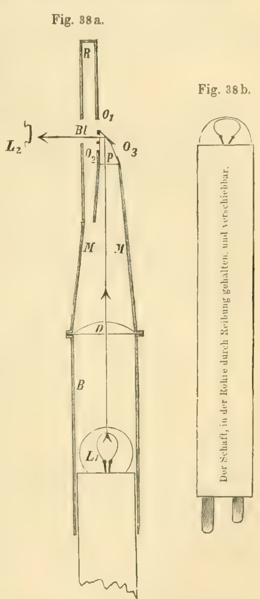


Fig. 38a. Fig. 38b.

Wir haben oben schon die Vorzüge der sogenannten elektrischen Augenspiegel hervorgehoben, und mehrere derselben angeführt (163, 165, 169, 180, 197). Als Beispiel möge hier das WOLFF'sche Instrument (224) beschrieben werden, von dessen Brauchbarkeit wir uns persönlich überzeugt haben.

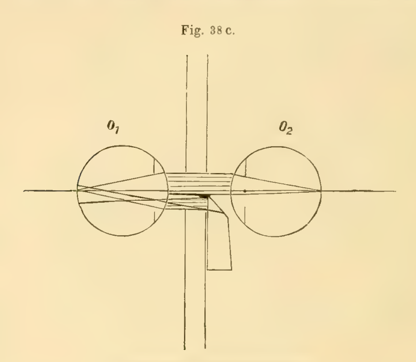
Der Beleuchtungsapparat (Fig. 38a und b) besteht in einer Röhre (B), welche eine Glühlampe (L'), (12 Volt(und eine Konvexlinse (D), (40 Dioptrien) enthält. Sie dient gleichzeitig als Griff, und ist, zur Abhaltung der Wärme, mit einem Mantel aus Asbestpappe umgeben. Der Kohlenbügel steht in der Ebene der Zeichnung senkrecht zur Kante des Prismas p; kann aber auch derselben parallel gestellt werden. Das total reflektierende Prisma p ist in dem konischen Mantel (MM) so befestigt, dass seine Kante ungefähr 1 mm excentrisch nach vorn von der Hauptachse steht. Sie ist im Sehloche der REKOSS'schen Scheibe durch eine 1 mm breite Blende (Bl) verdeckt. Von der reflektierenden Hypotenusenfläche ist eben nur der notwendige Teil stehen geblieben, der übrige Teil derselben ist in einem, zur ersteren stumpfen

Winkel von 120°, abgeschliffen und poliert. Der letztere dient zum Beleuchten und Ablesen der in O_2 erscheinenden Nummern der Rekoss'schen Scheibe. Letztere ist in einem Ausschnitte des konischen Mantels vorn so angebracht, dass etwa ein Millimeter weniger als die Hälfte ihres Sehloches durch das Prisma verdeckt wird.

Jede beliebige Gläserscheibe lässt sich mit dem Apparate verbinden.

Für das aufrechte Bild, steht die Lampe so zur Konvexlinse, dass, nach der Reflexion am Prisma, ihr umgekehrtes, vergrößertes Bild ungefähr 7 bis 10 mm vor der Rekoss'schen Scheibe entworfen wird (L_2).

Fig. 38 c.



O_1 untersuchtes, O_2 beobachtendes Auge.

Die Entfernung desselben, ja die Richtung der reflektierten Lichtstrahlen überhaupt, kann durch Verschiebung der Lampe nach Belieben verändert werden. So kommt der Beleuchtungsapparat einem konkaven oder konvexen Spiegel, mit veränderlicher Brennweite gleich.

Glühlampe, Konvexlinse und Prismenkante lassen sich, durch horizontale Verschiebung des Mantels (MM) zum Beleuchtungsrohre, centrieren.

Das Instrument gestattet eine Annäherung an das untersuchte Auge bis auf 5 mm und weniger. So ist es leicht, den Vereinigungspunkt des Beleuchtungslichtes in den Knotenpunkt desselben zu verlegen. In diesem Falle gehen die Lichtstrahlen ungebrochen zur Netzhaut, und beleuchten ein möglichst großes Gebiet derselben.

Gleichzeitig wird aber auch das Beobachtungsfeld so ausgedehnt, wie überhaupt erreichbar.

Beide können sich in ihrer ganzen Ausdehnung decken, was bei Anwendung eines gewöhnlichen Spiegels, trotz der Beschränktheit der beiden Felder, kaum je der Fall ist.

Das Beleuchtungsfeld ist kreisrund, da es das Zerstreuungsbild der Beleuchtungslinse darstellt. Für eine 6 mm weite Pupille, wird sein Durchmesser, nach H. Wolff's Berechnung, = 7,5 mm.

Da nun der Abstand zwischen Fovea und Pupillencentrum, nach unseren Messungen, im normalen Auge 3,9 mm beträgt, so ist also das ganze Gebiet der Macula lutea und der Sehnervenscheibe gleichzeitig sichtbar und, bis auf eine schmale Randzone, gleichmäßig erleuchtet.

Die zur Beobachtung nötige Beleuchtungsintensität soll, nach dem Autor, bei diesem Augenspiegel, viel geringer sein, als das von einem belegten Planspiegel aus 25 cm Entfernung reflektierte Licht einer niedrigen Petroleumflamme. Nichtsdestoweniger ist die Helligkeit des aufrechten Bildes vollkommen genügend, da zwei Drittel jedes aus dem untersuchten Auge kommenden Lichtbündels in das Auge des Beobachters gelangen, und nur ein Drittel derselben durch die reflektierende Fläche verdeckt, zur Lichtquelle zurückkehrt (Fig. 38c).

Aus diesem Grunde verträgt der Untersuchte die Beleuchtung selbst seiner Makula, ohne störende Pupillarreaktion, und die Beobachtung des hinteren Poles des Auges wird somit sehr leicht. Auch der Hornhautreflex verschwindet, wenigstens wenn man dicht an der Kante des Prismas vorbeisieht.

Endlich ist nicht zu vergessen, dass ein solches Instrument, welches die Lichtquelle in sich trägt, zur Untersuchung am Krankenbette viel geeigneter ist als der gewöhnliche Spiegel, dessen Einstellung bei gewissen Lagen des Patienten sehr schwierig sein kann.

Der Autor macht darauf aufmerksam, dass, mit einem solchen elektrischen Augenspiegel, das umgekehrte Bild, außer in der gewohnten Weise, auch so entworfen werden kann, dass das Instrument, zur Beleuchtung, dicht an das untersuchte Auge gehalten, und die Konvexlinse zwischen dasselbe und das Auge des Beobachters gebracht wird. Auf diese Weise fallen alle Reflexe weg.

Demonstrationsaugenspiegel.

§ 24. Wir zählen darunter die Augenspiegel, welche festgestellt oder festgeschraubt werden, so dass, wenn ein geübter Beobachter dieselben auf einen Teil des Augengrundes eingestellt hat, er seinen Platz einem weniger Geübten einräumen, und denselben das Augenspiegelbild sehen lassen kann. Sodann gehören dazu die Augenspiegel, welche mehreren Beobachtern gleichzeitig das Ophthalmoskopieren gestatten.

Der Augenspiegel von **Epkens Donders** besteht aus einem kubischen Kasten, der den durchbohrten Planspiegel *EE* (Fig. 39) enthält. *D* ist ein Ansatzstück zur Aufnahme des untersuchten, *O* ein solches für das beobachtende Auge. Vor letzterem lässt sich eine **Rekoss**'sche Scheibe mit sieben Korrektionsgläsern drehen. An den Kasten schließt sich ein innen

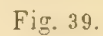


Fig. 39.

geschwärztes Rohr, vor dessen Ende eine Lampe brennt. Das Licht derselben kann entweder direkt auf den Spiegel treffen, oder durch eine Konvexlinse parallel gemacht werden.

Vor dieser Öffnung befinden sich zwei Pfeile, deren Spitzen einander näher und ferner gebracht werden können. Ihr Bild wird auf dem untersuchten Augengrunde entworfen, und dient zur Mikrometrie desselben.

Der den Apparat tragende Fuß *A* wird am Tische angeschraubt. *LL* bedeutet einen das Gesicht des Untersuchers — wie des Untersuchten — schützenden Vorhang.

Ruete's Augenspiegel (12), ein durchbohrter Konkavspiegel von 9 cm Durchmesser und 27 cm Brennweite, ist auf einem Fuße so befestigt, dass er sich um die vertikale und horizontale Achse drehen, sowie höher und tiefer stellen lässt. An dem Fuße befinden sich zwei horizontale, drehbare Arme. Der eine derselben ist eingeteilt und trägt zwei senkrechte Linsenhalter für Korrektionsgläser, der andere einen Schirm zur Schwächung des Lichtes, zu welchem Zwecke er über den Hohlspiegel geschoben wird. Der Beobachter korrigiert seine Refraktion durch eine Brille. Zur Beobachtung im umgekehrten Bilde verwertete Ruete zwei Konvexlinsen, von denen die eine das von der anderen entworfene Bild vergrößerte.

Liebreich's großer Augenspiegel (39) besteht, ähnlich wie ein in den fünfziger Jahren entstandener, etwas weniger vollkommener Augenspiegel von v. Hasner (28), aus zwei ineinander verschiebbaren Röhren. Die innere, okulare Röhre ist seitlich ausgeschnitten, um das Lampenlicht auf den Spiegel fallen zu lassen. Dieser ist konkav, in der Mitte durchbohrt, und an einer vertikalen Achse derartig in dem Rohre befestigt, dass er sich leicht drehen, und auch entfernen lässt. Hinter demselben werden die Korrektionsgläser angebracht.

Das entgegengesetzte Ende des äußeren Objektivrohres enthält eine Konvexlinse von 20 D., zur Produktion des umgekehrten Bildes. Sie kann mittelst eines Zahnrades vor und rückwärts bewegt werden.

Der Apparat wird von einem Fuße getragen, welcher mit dem Objektivrohre fest verbunden ist, während sich das Okularrohr darin verschieben lässt. Der Fuß wird am einfachsten an eine Tischecke geschraubt, während man, an der anderen Kante der Ecke, einen zweiten Fuß mit einer verstellbaren, gepolsterten Kinnplatte für den Untersuchten befestigt. Um den Kopf des letzteren noch besser zu stützen, befindet sich am oberen Teile des äußeren Rohres eine horizontale, verstellbare Stange mit einem Stirnhalter. Ein mit dem Instrumente verbundenes, bewegliches Fixierobjekt dient dazu, dem untersuchten Auge die erforderliche Richtung zu geben.

In Carter's Demonstrationsaugenspiegel (68) sind die zur Hervorrufung des umgekehrten Bildes nötigen Teile unabhängig voneinander, jedes auf einem besonderen Fuße befestigt, der sich auf dem Tische aufstellen lässt. Der erste Fuß trägt einen Kinnhalter für den Untersuchten, der zweite einen durchbohrten Hohlspiegel von großer Öffnung und Brennweite, der dritte ein ebenfalls großes Konvexglas von 18 cm Brennweite. Das umgekehrte Bild kommt somit ungewöhnlich weit von dem untersuchten Auge zu stande, und ist folglich sehr groß, aber auch sehr lichtschwach.

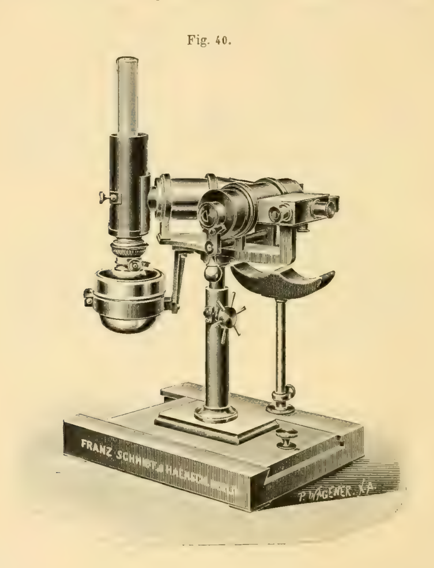
Peppmüller und Graefe (125) haben, zur Demonstration des Augenspiegelbildes, an der einen Seite der Durchbohrung des Konkavspiegels, einen kleinen, ungefähr 30° zur Achse des letzteren geneigten Planspiegel angebracht. Derselbe reflektiert also einen Teil der aus dem untersuchten

Auge kommenden Strahlen seitwärts, so dass, außer dem direkt durch den Spiegel blickenden Beobachter, noch ein zweiter den Augengrund betrachten kann.

H. W. Thorner (181) bedient sich in seinem Demonstrationsaugenspiegel (Fig. 40), zur Beseitigung der Reflexe aus dem Augenspiegelbilde, folgender Vorrichtung (Fig. 41):

Ein Bild der Lichtflamme L, welche in doppelter Brennweite von einer Konvexlinse A von großer Apertur stehen soll, werde, durch den Plan-

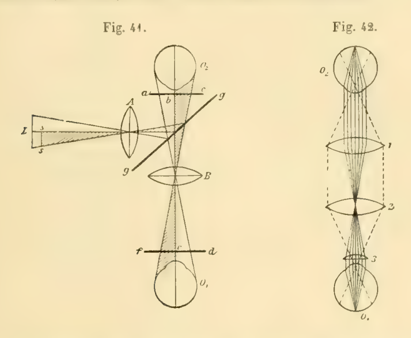
Fig. 40.



spiegel gg abgelenkt, auf der Pupille von O_2 entworfen. Dieses Bild ist ebenso groß wie L selbst. Betrachtet werde der Augengrund durch eine Konvexlinse B von 25 cm Brennweite, welche sich ebenso weit (50 cm) vom Beobachter O_1 wie vom beobachteten Auge O_2 befindet. Dann entsteht ein umgekehrtes Bild des Augenhintergrundes zwischen O_1 und B.

Verdeckt man nun die eine Hälfte von L durch eine Blende ss, dann entsteht ein Bild von ss auf der halben Pupille von O_2: bc, d. h. diese Hälfte wird dunkel, während die andere Hälfte ab hell bleibt. Die unbeleuchtete Hälfte der Pupille bc bildet sich nun auf der halben Pupille von O_1, in cf, ab, während die beleuchtete Hälfte sich auf der Hälfte de abbildet. Alle Strahlen, die von der halben beleuchteten Hornhaut von O_2 reflektiert werden, verhalten sich so, als ob sie selbstleuchtend wären, und gehen zu dem Bilde von ab, d. h. zu dc hin, während in den Raum ef kein Strahl von diesem Reflexe fallen kann. Befindet sich in de ebenfalls eine Blende, so wird der Reflex vollständig beseitigt, und es gelangt nur Licht vom Augenhintergrunde in das Auge des Beobachters O_1.

Fig. 41. Fig. 42.



Zur Beleuchtung und zur Beobachtung dient ein gleiches System (Fig. 42), das Ähnlichkeit mit einem astronomischen Fernrohr besitzt, jedoch für die speziellen optischen Verhältnisse des Auges umgeändert ist. Es besteht aus 2 bikonvexen Linsen (1 und 2) von 75 mm Brennweite und 50 mm Durchmesser, und einer kleineren, plankonvexen Linse, von ebenfalls 75 mm Brennweite. Durch dieses System ist das Bild ausreichend achromatisch gemacht, ferner wird der stark gewölbte Augenhintergrund als Ebene abgebildet. Auf das Auge O_2 werden die Lichtstrahlen aus dem Beleuchtungssystem mit Hilfe eines total reflektierenden Prismas gelenkt (in der Figur fortgelassen). Die Abweichungen von der normalen Refraktion sowohl von seiten des Beobachteten wie des Beobachters lassen sich durch Änderung der Entfernung von 1 und 2 in engeren, und durch Auswechseln des Okulars 3 in weiteren Grenzen korrigieren.

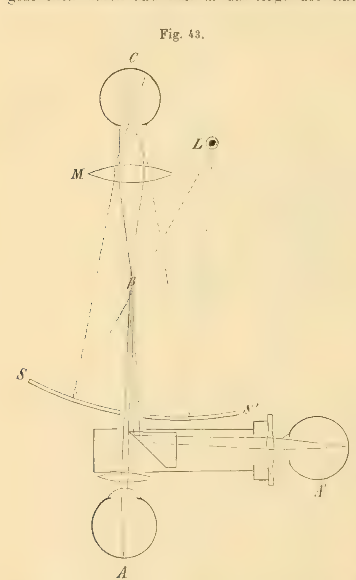
Es empfiehlt sich dabei, die Pupille des Untersuchten möglichst zu erweitern.

Augenspiegel für zwei Beobachter.

de Wecker und Roger (64) teilten im Jahre 1870 der Académie des Sciences in Paris eine Einrichtung mit, welche zwei Beobachtern gleichzeitig die Beobachtung des umgekehrten Augenspiegelbildes ermöglicht: Vor das in gewohnter Weise erzeugte Bild wird eine Kombination von zwei, mit der Hypotenusenfläche aufeinander liegenden Prismen von 48° und von 42° gebracht.

Ein Teil der vom umgekehrten Bilde kommenden Strahlen geht ungebrochen durch und fällt in das Auge des einen Beobachters, während ein anderer Teil, von der Hypotenusenfläche reflektiert, das Auge des anderen Beobachters trifft. Die Richtung dieser letzteren Strahlen ist also senkrecht auf die der ersteren.

Fig. 43.



Ein ähnliches Instrument ist das Ophthalmoskope à deux observateurs von A. Sichel (72). Es besteht aus einem central durchbohrten Konkavspiegel SS' (Fig. 43) von 35 cm Brennweite, welcher das Licht einer seitwärts stehenden Lampe L in das beobachtete Auge C wirft. Vor letzterem befindet sich das Konvexglas M, welches von den aus dem Augengrunde kommenden Strahlen ein reelles umgekehrtes Bild in β entwirft. Von hier aus gehen die Strahlen divergent weiter, und fallen durch die 1 cm weite Öffnung des Konkavspiegels in einen Kasten, dessen eine, dem Spiegel entsprechende Öffnung, zu $^2/_3$ von einem Prisma eingenommen wird, während das andere Drittel frei bleibt.

Der durch letzteres gehende Teil des Strahlenbündels gelangt direkt, oder durch ein Konvexglas, in das Auge des einen Beobachters A, während der andere Teil an der Hypotenusenfläche des Prismas eine totale Reflexion nach dem andern Ende des Kastens erleidet, wo sich der zweite Beobachter A' befindet, der sein Auge ebenfalls mit einem Konvexglas, oder durch Akkommodation, für das Bild β einstellen kann. Letzteres wird ihm dabei, wie jedes Spiegelbild, mit Vertauschung von rechts und links erscheinen. Ein zweites Prisma könnte, wenn man es für notwendig hielte, diese Umdrehung wieder aufheben. Kasten und Spiegel sind miteinander verbunden, und können beliebig, entweder an einer gewöhnlichen Handhabe, oder auf einem unbeweglichen Stative befestigt werden.

Augenspiegel für drei Beobachter.

F. Monoyer (93) hat Sichel's Ophthalmoskope à deux observateurs auch für drei Beobachter eingerichtet. Er brachte nämlich, dem Rohre für das Auge A' (Fig. 43) gegenüber, ein zweites an, das ebenfalls ein Prisma enthält, dessen brechende Kante einen Teil der Öffnung im Spiegel SS' einnimmt. Diese Kante ist der ersteren entgegengesetzt gerichtet, so dass ein Teil der aus dem beobachteten Auge kommenden Strahlen, in der entgegengesetzten Richtung, denselben Verlauf nimmt, wie die nach A' hin zielenden. Die Kanten der beiden Prismen berühren sich aber nicht, so dass der dritte Beobachter A zwischen ihnen hindurch noch direkt ophthalmoskopieren kann. Die beiden Röhren enthalten jede ein konvexes Objektiv und ein konvexes Okular, so dass also die zwei seitlichen Beobachter ein dem des mittleren entgegengesetzt gerichtetes Bild erhalten.

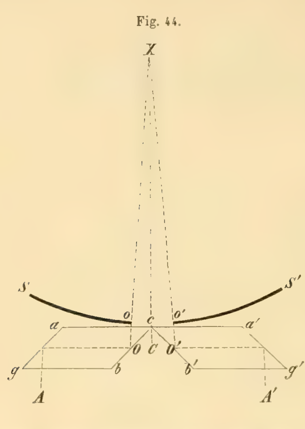
Binokuläre Augenspiegel.

§ 25. Der erste Augenspiegel, der beiden Augen gleichzeitig das Ophthalmoskopieren gestattete, ist wohl der von Giraud-Teulon. Seine Konstruktion ist folgende (Fig. 44): Ein konkaver Glasspiegel SS' von 45 mm Durchmesser dient zur Reflexion des Beleuchtungslichtes, welches über dem Kopf des Patienten angebracht wird, wenn, wie bei den älteren Exemplaren, der Spiegel nur um die horizontale Achse drehbar ist; dagegen seitlich, wenn er sich auch um die vertikale Achse drehen lässt, wie in den neueren.

Im Centrum ist der Spiegel, an einer kreisförmigen Stelle oo' von 0,55 cm Durchmesser, vom Belage befreit. In der Mitte dieser Stelle stoßen zwei Glasprismen $cagb$ und $ca'g'b'$ mit ihren scharfen Kanten zusammen. Die Winkel acb und agb betragen 45°, so dass Strahlen, welche senkrecht, oder unter einem sehr kleinen Winkel auf aa' fallen, und diese Fläche ungebrochen passiert haben, an cb und cb' eine totale Reflexion nach ag, resp. $a'g'$, und dort eine ebensolche, durch die Flächen bg und $b'g'$, nach außen erleiden.

Befinden sich nun in X ein Objekt, in A und A' die Augen eines Beobachters, so bekommt jedes von den beiden Augen ein besonderes, und um so verschiedeneres Bild von X, je größer der Winkel oXo' ist. Um das Instrument jedem gegenseitigen Abstande der Augen des Beobachters anzupassen, ist das Prisma $acgb$ in seiner Mitte senkrecht auf ac gespalten, und der äußere Teil lässt sich aus- und einziehen, ohne auf den Gang der Strahlen einen anderen Einfluss auszuüben, als den die Entfernung der nach A und A' austretenden Strahlenbündel voneinander zu modifizieren.

Fig. 44.



In seiner eben beschriebenen Gestalt, würde Giraud-Teulon's Augenspiegel Parallelstellung der Augen des Beobachters verlangen. Um ihn auch für konvergente Blickrichtung brauchbar zu machen, hat der Autor, auf der dem Beobachter zugekehrten Seite der Glasrhomboëden, je einen Schlitten, mit zwei abducierenden Prismen angebracht, von denen das eine plane, das andere eine konvexe Oberfläche hat, und welche nach Bedürfnis vor das Auge geschoben, oder davon entfernt werden können.

Das Instrument kann zur Beobachtung im aufrechten wie im umgekehrten Bilde verwendet werden. In ersterem Falle muss allerdings die Refraktion des untersuchten Auges korrigiert werden, wozu mehr Linsen erforderlich sind als Giraud-Teulon seinem Augenspiegel beigegeben hat. Für das umgekehrte Bild wird, zwischen Spiegel und untersuchtem Auge, in gewohnter Weise ein Konvexglas gehalten.

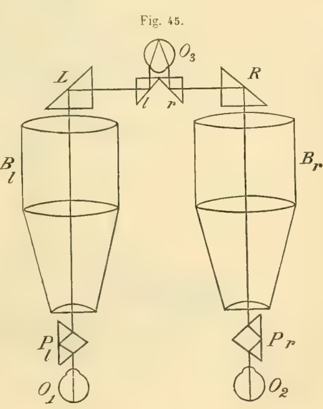
Der binokulare Augenspiegel sollte nicht nur dazu dienen, den beiden Augen des Beobachters gleichzeitig das Bild des untersuchten Augengrundes vorzuführen, sondern auch einen stereoskopischen Eindruck des letzteren hervorzubringen. Ob dies der Fall ist, hängt offenbar davon ab, ob die den Augen des Beobachters zukommenden Bilder genügend voneinander verschieden sind, resp. ob sich die Objekte des untersuchten Augengrundes den beiden beobachtenden Augen unter einem genügend großen

Winkel darstellen. Schweigger hat dies in Abrede gestellt, während die Versuche, die Stammeshaus und E. Landolt mit dem Ptotostereoskop vorgenommen haben, darzuthun scheinen, dass Giraud-Teulon's Augenspiegel, wenigstens im aufrechten Bilde, wirkliches stereoskopisches Sehen gestattet.

Schweigger (65) versuchte die binokulare Ophthalmoskopie dadurch zu erreichen, dass er jedem Auge des Beobachters einen besonderen durchbohrten Konkavspiegel vorsetzte. — Später verband er zwei Planspiegel unter einem rechten Winkel. In der Mitte der Kante befindet sich ein elektrisches Glühlicht mit einer Konvexlinse, welche durch eine Öffnung das Auge beleuchtet. Parallel zu jeder Spiegelfläche steht, vor jedem Auge des Beobachters, ein Planspiegel, welcher die vom Augengrunde kommenden Strahlen in dieses Auge lenkt.

W. Thorner (222) hat das Prinzip seines stabilen Augenspiegels mit reflexlosem Bilde auch für die binokulare Untersuchung verwendet (Fig. 45).

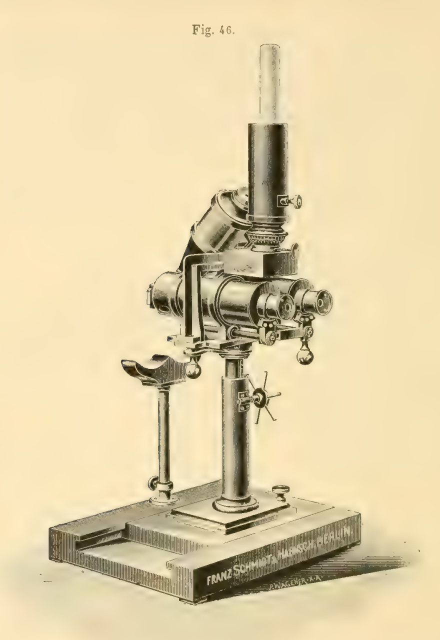
Fig. 45.



Das Licht wird, mit Hilfe des oben beschriebenen optischen Systems, durch die obere Hälfte der Pupille von O_3 zugeführt. Die durch die untere Hälfte der Pupille austretenden Lichtstrahlen werden durch die Prismen r und l horizontal nach außen reflektiert, durch die Prismen L und R ihrer Anfangsrichtung wieder parallel gemacht, und zwar so, dass ihr gegenseitiger Abstand gleich wird dem gegenseitigen Abstande ($O_1\,O_2$) der Augen des Beobachters. Sie durchlaufen die Beobachtungsrohre Bl und Br, die dem Beobachtungsrohr des monokularen Thorner'schen Augenspiegels analog gebaut sind. Schließlich werden die Lichtstrahlen durch die Prismen Pl und Pr so reflekiert, dass das Bild von rechts nach links umgekehrt wird, also keine pseudoskopische Wirkung eintritt.

Fig. 46 stellt den Apparat von der Seite des Beobachters gesehen dar. Auf der entgegengesetzten Seite ist eine Kinnstütze, deren Aushöhlungen benutzt werden, je nachdem das linke oder das rechte Auge des Untersuchten vor das Objektiv zu liegen kommen soll. — Die zwei, auf der

Fig. 46.



rechten Seite der Figur befindlichen Okulare, dienen zur Einstellung des Apparates, je nachdem derselbe einem einzigen Beobachter oder zur Demonstration dienen soll. Die eingehende Beschreibung desselben ist im Originale nachzulesen.

Autophthalmoskopie.

§ 26. So wie man ein fremdes Auge mit Hilfe eines Augenspiegels untersuchen kann, so lässt sich auch, durch eine richtige Kombination von Spiegeln, das eine eigene Auge erleuchten, und mit dem anderen ophthalmoskopieren.

Schon Helmholtz giebt, in seiner Beschreibung eines Augenspiegels (S. 13), eine Methode an, wie man mit dem einen Auge das andere leuchten sehen könne: Man tritt vor einen Spiegel und stellt seitwärts eine Lampe auf. Dann hält man ein Stückchen ebenen Glases so vor sein rechtes Auge, dass man darin die Flamme gespiegelt sieht, und dreht es so, dass das Flammenbild mit dem Spiegelbilde des linken Auges zusammenfällt. Dann sieht das linke Auge das Spiegelbild der rechten Pupille schwach leuchten.

Methode von Coccius. Wir setzen ein emmetropisches, akkommodationsloses Auge voraus. Die Retina dieses Auges, namentlich die Eintrittsstelle des Sehnerven, wird durch den Zerstreuungskreis eines vor und etwas nach außen von demselben stehenden Lichtes erleuchtet. Die Strahlen aber können nur durch die eine Hälfte der Pupille eindringen, indem die andere durch einen vorgehaltenen Planspiegel abgeschlossen ist. Die von der Papille kommenden Strahlen verlassen das Auge parallel. So treffen sie auf den Planspiegel, von welchem sie auch parallel reflektiert werden. Nun kann man diesem eine solche Stellung geben, dass die reflektierten Strahlen der Papille gerade auf der Macula lutea zur Vereinigung kommen. So sieht also das Auge seine eigene Papille im Spiegel.

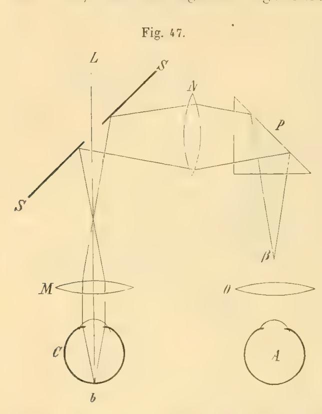
Das Autophthalmoskop, welches Coccius zu diesem Zwecke konstruiert hat, besteht aus einem inwendig geschwärzten, 54 mm langen Rohre. An seinem vorderen Ende befindet sich ein central durchbohrter, metallener Planspiegel von 20 mm Durchmesser, am hinteren Ende eine beleuchtende Konvexlinse von 13 D. Letztere ist größtenteils durch eine Blendung verdeckt, so dass von ihr nur eine kleine excentrische Stelle frei bleibt.

Autophthalmoskopie nach Zehender (47). v. Zehender lässt ein Auge sich selber nach folgender Methode ophthalmoskopieren: Vor ein Auge werden zwei, unter beliebigem Winkel zu einander stellbare Planspiegel gebracht, und zwar so, dass das Bild des Auges, nach Reflexion am ersten und am zweiten Spiegel, von letzterem wieder ins Auge gelangt. Es sieht sich das Auge dann einerseits etwas schief, je nach der Größe des Winkels, den die beiden Spiegel zusammen bilden, und außerdem rechts und links vertauscht. Nun bringt man hart neben das Auge ein Licht, und stellt es so, dass sein Spiegelbild mit dem zum zweitenmal reflektierten Bilde der Pupille zusammenfällt. Dann gelangt von dem reflektierten Lichte also auch etwas in das Auge. Dieses sieht seine eigene Pupille leuchten und kann, wenn es emmetropisch und akkommodationslos ist, auch seitlich von

der Macula lutea gelegene Teile seiner Retina erkennen. Ist das Auge myopisch, so ersetzt man den zweiten Planspiegel durch einen Konkavspiegel, dessen Radius doppelt so groß ist als die zur Korrektion nötige negative Brennweite. Um starke Beleuchtung zu erzielen, kann man, statt des ersten (Beleuchtungs-)Spiegels, einen Konkavspiegel, und statt des zweiten einen Konvexspiegel benutzen, die beide gleiche Brennweite haben.

Das Autophthalmoskop von Heymann. Dieses Instrument hat den Zweck, dem einen Auge das umgekehrte Bild des anderen Auges vorzuführen, und ist in folgender Weise eingerichtet (Fig. 47): A stellt das untersuchende, C des untersuchte Auge dar. Letzteres wird beleuchtet von einer Flamme L, deren Licht durch die Öffnung eines schwachen Konkavspiegels SS auf eine Konvexlinse M von 15 D., und von dieser konzentriert, in das Auge C fällt.

Fig. 47.



Ist das Auge C emmetropisch, so sind die von seiner Retina kommenden Strahlen außer dem Auge parallel, werden also im Brennpunkte der Linse M sich kreuzen, und divergent auf SS fallen. So werden sie von dem Planspiegel reflektiert, von der Linse N aber wieder gesammelt, und treffen auf das Prisma P, dessen eine Kathete sie beinahe ungebrochen passieren, während sie an seiner Hypotenuse eine totale Reflexion erleiden. Sie vereinigen sich dann in β zu einem reellen Bilde, welches das Auge A, durch die Konvexlinse O vergrößert, betrachtet.

Was die Stellung des Bildes β anbelangt, so ist dasselbe aufrecht: denn das von M gelieferte umgekehrte Bild wird von N noch einmal umgekehrt, also wieder in ein aufrechtes verwandelt.

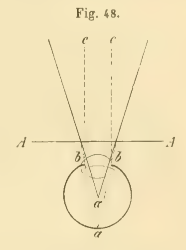
Die Untersuchung des Auges unter Wasser.

§ 27. Wäre die Hornhaut flach, so würden die von der Netzhaut kommenden Strahlen so divergent austreten, als kämen sie von einem weit vor derselben liegenden Objekte her. Parallel einfallende Lichtstrahlen

würden sich nicht auf der Netzhaut vereinen, sondern auf derselben Zerstreuungskreise bilden. In diesem Falle könnte man sein Auge also leicht in die Richtung der von der Netzhaut kommenden Strahlen bringen, ohne das Beleuchtungslicht abzuschneiden, und folglich auch den Augenhintergrund sehen (vgl. S. 6; Fig. 2).

Geradeso verhält sich ein Auge, wenn man es unter Wasser taucht. Da nämlich der Brechungsindex der dioptrischen Medien des Auges ungefähr derselbe ist wie der des Wassers, so hat nun die zwischen beiden liegende Hornhaut keinen Einfluss mehr auf den Gang der Strahlen, und diese haben also, statt der stark gewölbten Hornhaut, nur die plane Trennungsfläche zwischen Luft und Wasser zu passieren (Fig. 48). Strahlen z. B., welche von einem Punkte *a* des Augengrundes ausgehen, und unter normalen Verhältnissen den Gang *abbcc* genommen hätten, d. h. parallel ausgetreten wären, gehen nun direkt bis zur Wasseroberfläche *AA*, und werden dort, beim Übergang in Luft, vom Einfallslote abgelenkt, d. h. so divergent gemacht, als kämen sie von einem vor der Retina gelegenen Punkte *α* her. Ein beobachtendes Auge wird demnach den Punkt *a* der Netzhaut in *α* sehen.

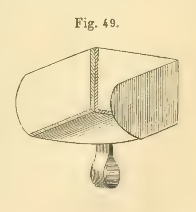
Fig. 48.



Der Erste, welcher auf dies Phänomen aufmerksam machte, war Méry (1). La Hire (2) gab die Erklärung desselben.

Um die Untersuchung unter Wasser zu erleichtern, konstruierte Czermak ein Orthoskop (11). Dieses Instrument besteht aus einem einfachen Glaswännchen von nebenstehender Form (Fig. 49). Oben und hinten ist es offen, während die untere, die innere und die äußere Wand so geschnitten sind, dass sie sich leicht an die Nasenseite, an den unteren und den äußeren Orbitalrand andrücken lassen. Um den Anschluss noch vollständiger zu machen, kann man die Ränder mit Fensterkitt verkleben. Hierauf wird das Gefäß von oben mit lauem Wasser gefüllt, worin am besten etwas Kochsalz gelöst ist, und das Auge kann durch die vordere Wand betrachtet werden.

Fig. 49.



Die Form, die man dem Wännchen geben will, ist natürlich gleichgültig. Es kommt nur darauf an, dass sie sich so fest anschließe, dass kein Wasser ausfließt und dass sie dem Beobachter eine plane, durchsichtige Fläche darbietet.

Es genügt übrigens (Coccius), einen Tropfen Wassers auf die Cornea zu bringen, und ein mikroskopisches Deckgläschen darauf zu legen, und man hat schon die plane Fläche und dahinter Wasser als brechendes Medium. Freilich ist letztere Methode für den Untersuchten etwas lästig.

Statt die Refraktion des dioptrischen Apparates des Auges durch Wasser und eine ebene Trennungsfläche zu neutralisieren, hat dies J. Stilling (128, 137) durch ein demselben ungefähr gleichwertiges Konkavglas von 15 mm Brennweite bewerkstelligt, und so den Augengrund bei einfacher seitlicher Beleuchtung sichtbar zu machen gesucht.

Man darf bei allen diesen orthoskopischen Experimenten nicht vergessen, dass man mit der Refraktion des dioptrischen Apparates auch dessen vergrößernde Wirkung unterdrückt, und die Gegenstände des Augengrundes also in ihrer wirklichen Größe, resp. Kleinheit erblickt.

Mit einer Auswahl der verschiedenartigsten Augenspiegel ausgestattet, werden wir zur Untersuchung des Augengrundes übrigens kaum je die Orthoskopie verwenden. Dieselbe kann etwa zur Demonstration der wirklichen Lage der Iris dienen. Letztere wird nämlich, unter gewöhnlichen Verhältnissen, durch den von Cornea und Humor aqueus gebildeten Meniscus vergrößert, und scheint nach der Cornealmitte zu mehr vorgebaucht, als sie es in Wirklichkeit ist. Die vergrößernde Wirkung der vor ihr liegenden Medien wird durch eine vorgesetzte plane Wasserfläche aufgehoben, und die Iris erscheint dann also in ihrer wirklichen Lage.

Autophthalmoskopie, binokulare Ophthalmoskopie, Untersuchung des Auges unter Wasser, ja selbst die Demonstrationsaugenspiegel haben weder der Wissenschaft noch der Praxis wesentliche Dienste geleistet. Das handliche Instrument, das uns Helmholtz gegeben, übertrifft sie alle bei weitem.

Haben wir nichtsdestoweniger diesen Methoden soviel Raum geopfert, so geschah es einmal, um die vielfältige Anwendung, deren Helmholtz's Erfindung fähig ist, darzuthun, und dann wohl auch, um weiteren Erfindern Zeit und Mühe zu ersparen.

Die Untersuchung der brechenden Medien des Auges mit auffallendem und durchfallendem Lichte[1].

§ 28. Hat man ein Auge, bei gutem Tageslichte, gründlich angeschaut, und über dessen Zustand den wichtigsten Aufschluss erhalten, so wird doch diese Untersuchung in wünschenswerter Weise noch dadurch ergänzt, dass man, im dunkeln Raume, das Licht einer starken Lampe mit Hilfe eines

[1] Diese Untersuchung lässt man in der Praxis der eigentlichen Ophthalmoskopie vorangehen. Da jedoch zum Teil auch der Augenspiegel dazu benutzt wird, lassen wir die Besprechung derselben derjenigen der Ophthalmoskopie folgen.

Konvexglases, auf die demselben zugänglichen Teile konzentriert, und dieselben mittelst eines Vergrößerungsglases, in ihren verschiedenen Schichten durchmustert. Hornhaut, Humor aqueus, Iris, Linse, ja sogar der vordere Teil des Glaskörpers, lassen sich auf diese Weise sehr genau untersuchen.

Man geht dabei am einfachsten folgendermaßen vor: Die Lichtquelle, versehen mit einem Schirme zum Schutze gegen die strahlende Wärme sowohl, als zur Abhaltung des nicht gebrauchten Lichtes vom Gesichte des Untersuchten wie von dem des Untersuchers, wird, in der Höhe des zu untersuchenden Auges, erst auf die eine, z. B. die linke Seite des Patienten, gebracht. Der Beobachter hält in seiner Rechten ein Konvexglas von 15 bis 20 D., mit welchem er das Licht auf die zu betrachtenden Teile des Auges konzentriert, und zwar in der Weise, dass er das Licht erst ganz seitlich, dann, durch Vorrücken der Lampe oder Rückwärtsbewegung des Patienten, immer steiler in das Auge fallen lässt. So gelingt es, nacheinander die Hornhaut, den Humor aqueus, die Linse in ihren verschiedenen Schichten zu beleuchten, und sich über die Lage, Form und Dichtigkeit etwa vorhandener Trübungen Rechenschaft zu geben. Wesentlich erhöht wird der Wert dieser Methode durch eine Lupe, welche man mit der linken Hand führt, deren vierter Finger das obere Lid des Patienten hält, während der fünfte sich auf dessen Stirne stützt.

Ist die Untersuchung mit linksseitiger Beleuchtung vollendet, so bringt man das Licht auf die rechte Seite des Patienten, und führt mit der Linken die beleuchtende, mit der Rechten die vergrößernde Linse.

Hat man ein elektrisches Ophthalmoskop, wie z. B. das oben beschriebene Wolff'sche, zur Verfügung, so braucht man einfach den Spiegel zu entfernen, und kann das elektrische, im Stiele enthaltene, durch die Linse modifizierbare Licht sehr vorteilhaft zu dieser Untersuchung verwenden.

Professor Saemisch (109) versieht beide Augen mit einem Konvexglase von 5 D., das, zur Erleichterung der Konvergenz, mit einem abducierenden Prisma von 3° verbunden ist. Wir bedienen uns derselben Lupenbrille, die wir auch zur Discission verwenden. Sie enthält, als Gläser, das jedem Auge entsprechende Stück einer einzigen, großen Lupe, die beide Augen bedecken würde. Auf diese Weise verbindet man den Vorteil der Vergrößerung mit demjenigen des binokularen, d. h. stereoskopischen Sehens. — Auch zwei, zu den konvergierenden Augenachsen senkrecht stehende, und in ein Brillengestell gefasste Konvexgläser (Donders) können hierzu verwendet werden.

Um stärkere Vergrößerung (bis 10) zu erzielen, bedient man sich, mit Vorteil, der von Hirschberg (150) empfohlenen Hartnack'schen Kugellupe.

Endlich sind zur Untersuchung der vordersten Teile des Auges auch wirkliche Mikroskope empfohlen worden. Sie sind aber nicht sehr handlich und haben deshalb bisher wenig Eingang in die Praxis gefunden. Schon Liebreich benutzte hierzu ein Schiek'sches Mikroskop, in das Rohr seines Demonstrationsophthalmoskopes eingeführt, und mit einer zur Beleuchtung dienenden, verstellbaren Konvexlinse von 40 mm Brennweite versehen.

de Wecker (50) versuchte es mit einem Hartnack'schen Mikroskope von 40 bis 60facher Vergrößerung. — Aubert (183) zeigte, im Jahre 1891, der Ophthalmologenversammlung in Heidelberg ein binokulares Hornhautmikroskop, welches ein 25mal vergrößertes, aufrechtes Bild lieferte, bei einem Abstande von 105 mm, und einem Gesichtsfelde von 10 mm.

Westien's binokulares Cornealmikroskop enthält zwei mit der Kante nach innen gerichtete Prismen, welche die vom Objekte kommenden Strahlen in die konvergierenden Okularröhren leiten. Außer einem großen Gesichtsfelde, soll das Instrument eine zehnfache Vergrößerung ergeben (v. Zehender 170, Westien 176).

S. Czapski (221) und F. Schanz (206) haben ebenfalls zwei Mikroskope für die beiden Augen des Beobachters miteinander verbunden und die nötige starke Beleuchtung durch eine elektrische Lampe gesichert. Die Okulare wie die Objektive lassen sich wechseln. Die Vergrößerung schwankt, je nach dem Okulare, zwischen einer 9 und 35fachen. Der Abstand zwischen Hornhaut und Objektiv wechselt zwischen 25 und 75 mm.

Die Linse wird im Normalzustande nur gekennzeichnet durch die Reflexe ihrer vorderen und hinteren Oberfläche. Der erstere ist dem Hornhautreflexe gleichgerichtet, etwas größer aber viel lichtschwächer. Noch lichtschwächer, dabei kleiner und umgekehrt, weil von einem Hohlspiegel geliefert, ist das Reflexbild der hinteren Linsenfläche.

Der Rand der gesunden Linse ist, nur bei Irismangel, im auffallenden Lichte sichtbar, bei Luxation der Linse dagegen, zeigt er einen glänzenden Reflex (Dimmer). Bei durchfallendem Lichte stellt sich der Äquator der Linse, auch bei normaler Lage derselben, als dunkler Ring dar.

Hat man die vorderen Teile des Auges im auffallenden Lichte untersucht, so geht man zur Betrachtung derselben im duchfallenden Lichte über. Dazu bedient man sich des Augenspiegels, mit welchem man, aus einiger Entfernung, Licht in das Auge wirft.

Es gelingt so, nicht nur die Dichtigkeit vorhandener Trübungen, nach ihrer Durchlässigkeit für das ein- oder austretende Licht zu beurteilen, sondern auch deren Ort im Augapfel wenigstens annähernd zu bestimmen.

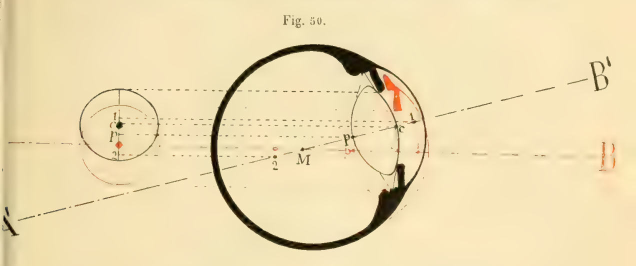
Bestimmung des Ortes von Trübungen in den brechenden Medien des Auges.

§ 29. Man benutzt dazu die scheinbare Verschiebung (Parallaxe), welche die Trübungen, bei der Bewegung des Auges, in Bezug auf Teile desselben, deren Lage bekannt ist, eingehen.

Solche Teile sind: 1. der Pupillarrand, 2. der Hornhautreflex.

1. Nehmen wir an (roter Teil der Fig. 50), es befinde sich eine Trübung (1) vor der Pupille, eine in c, in derselben, eine (p, hinter, und eine

Fig. 50.



(2) noch weiter hinter derselben. Liegen alle diese Trübungen auf der Achse AB des Auges, so werden sie sich für einen, in der Richtung derselben in das Auge blickenden Beobachter, decken, und zusammen einen einzigen dichten, dunklen Fleck in der Mitte der leuchtenden Pupille bilden. Derselbe würde dem Centrum des rot bezeichneten Aufrisses der Figur entsprechen.

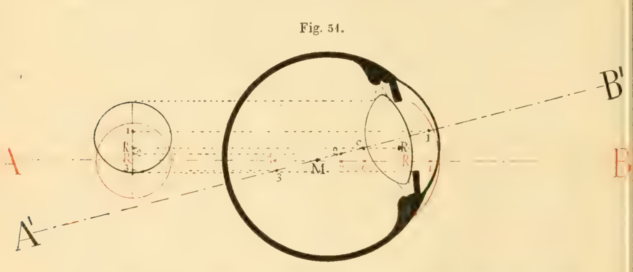
Lässt man nun das Auge z. B. nach oben sehen, d. h. sich um sein Bewegungscentrum M in die Richtung $A'B'$ drehen, so erscheint die Pupille einmal dem Beobachter in ihrem senkrechten Durchmesser perspektivisch verkürzt, und die Trübungen sind auseinandergerückt, wie es der schwarze Aufriss der Figur angiebt. Der vor der Pupille liegende Punkt (1) scheint derselben vorausgeeilt zu sein, da er nun höher liegt als ihr Mittelpunkt. Der in ihrer Ebene liegende Punkt c (z. B. ein der vorderen Kapsel anhaftendes Exsudat) ist mit ihr in die Höhe gegangen, ohne seine Lage in Bezug auf ihre Ränder geändert zu haben. Die hinter der Pupille liegenden Punkte p und 2 aber scheinen sich gesenkt zu haben, und das umsomehr, je weiter sie von demselben entfernt sind. Die Scheinbewegung eines Punktes ist ganz besonders ausgiebig, wenn er (wie 2) jenseits des Drehpunktes M liegt, denn dann durchläuft er eine der Pupille umgekehrte Bahn.

2. Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn man die Lage von Trübungen mit Hilfe des Hornhautreflexes zu beurteilen sucht.

Der Reflex der Hornhaut ist das virtuelle Bild, welches dieser Konvexspiegel von der Lichtquelle entwirft. Da die letztere ziemlich weit von dem sehr stark gewölbten Spiegel entfernt ist, so entsteht dies Bild ungefähr in der Mitte zwischen der Oberfläche der Hornhaut und ihrem Krümmungsmittelpunkte[1]). Nehmen wir an, die Hornhaut habe 8 mm Radius, so würde das Reflexbild 4 mm hinter ihre Oberfläche, d. h. in die Pupille, in die Nähe des vorderen Linsenpoles, zu verlegen sein. Nehmen wir ferner an, was für unseren Zweck und die kleine Ausdehnung der Hornhaut, deren Spiegelung wir benutzen, wohl angeht, die Hornhautoberfläche sei sphärisch, so wird, bei mäßiger Drehung des Auges, der Reflex zwar von anderen Teilen der Hornhaut gebildet, aber dennoch seine Lage nicht ändern; er bleibt auf dem mit der Blicklinie des Beobachters zusammenfallenden Hornhautradius.

Sei z. B. (Fig. 51) *c* der Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut, *R* (rot) das Reflexbild bei der Richtung *AB*. Dreht sich nun das Auge um das

Fig. 51.



Centrum *M*, in die Richtung *A'B'* (schwarz), so macht zwar der Reflex für einen unbeweglichen Beobachter die Bewegung in etwas, jedoch äußerst kleinem Maße, mit; er rückt von rot *R* nach schwarz *R*. Viel ausgiebiger aber sind die Verschiebungen, welche die auf der Augenachse liegenden Punkte *1* und *3* in Beziehung zu diesem Reflexe eingehen. In der Lage *AB* decken sie sich für den Beobachter, in rot *R* des Aufrisses. In der Lage *A'B'* aber erscheinen die Punkte übereinander, wie aus dem schwarzen Aufrisse erhellt. Die vor dem Krümmungscentrum *c* der Hornhaut befindlichen liegen nach oben, die hinter demselben gelegenen nach unten von dem

1) Vgl. das S. 17 über die Eigenschaften des Konvexspiegels Gesagte.

Hornhautreflexe, und das umsomehr, je weiter sie von c entfernt sind. Einzig eine Trübung, welche im Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut selbst läge, würde ihre relative Lage zum Reflexe nicht verändern, von demselben immer gedeckt bleiben. Dieser Punkt, ungefähr 8 mm vom Hornhautscheitel entfernt, befindet sich ganz nahe hinter dem hinteren Pole der Linse.

Eine punktförmige Trübung des hinteren Linsenpoles würde also, bei Bewegung des Auges, dem Hornhautreflexe nur wenig voraneilen, eine ausgedehntere immer von demselben mehr oder weniger bedeckt sein (192, 225).

Bewegliche Trübungen im Glaskörper werden dadurch am besten zur Anschauung gebracht, dass man das Auge eine rasche Bewegung ausführen lässt. Sie machen dieselbe, je nach ihrer Natur und der größeren oder geringeren Flüssigkeit des Glaskörpers, mehr oder weniger rasch mit, und sinken dann wieder in die Tiefe.

Die Lage von Neubildungen oder Fremdkörpern, die Vorwölbung einer abgelösten Netzhaut, das Zurücktreten einer vertieften Sehnervenpapille, überhaupt Niveaudifferenzen des Augengrundes, kann man einmal mit Hilfe der parallaktischen Verschiebung wahrnehmen, d. h. mittelst der scheinbaren Lageveränderung, welche verschiedene Punkte, bei Bewegungen des Auges des Beobachters, unter sich eingehen. Decken sich z. B., im aufrechten Bilde, zwei hintereinander gelegene Punkte des Augengrundes, bei einer bestimmten Richtung unseres Blickes, und gehen wir nun nach rechts, so wird der mehr rückwärts gelegene nicht mehr von dem vorderen gedeckt, sondern auf dessen linken (von uns aus gesehenen rechten) Seite, zum Vorschein kommen. Sehen wir von oben in ein Auge hinein, und scheint, von zwei vorher sich deckenden Punkten, der eine nach oben, der andere nach unten verrückt, so ist der erstere weiter von uns entfernt als der letztere. Mit einem Worte: Im aufrechten Bilde macht der weiter entfernte Punkt die Bewegungen unseres Kopfes scheinbar mit, der näher gelegene scheint in umgekehrter Richtung zu wandern.

Fig. 52.

Auch im umgekehrten Bilde lässt sich die Parallaxe zur Beobachtung von Niveaudifferenzen verwerten.

Seien a und b (Fig. 52) zwei in verschiedener Tiefe der Netzhaut gelegene Punkte, a' und b' die, von der voll ausgezogenen Linse, entworfenen, umgekehrten Bilder derselben. Die beiden Bilder decken sich für einen in

der Richtung der Linsenachse in das Auge blickenden Beobachter. Bringt derselbe aber die Linse in die punktierte Stellung, so dass deren Centrum C nach C' wandert, so erscheinen ihm, wie aus der Konstruktion erhellt, die Bilder der beiden Punkte in der Richtung der Linse verschoben, jedoch das von dem näher gelegenen a mehr als das von dem entfernten b, so dass dieselben nun auseinandergerückt, in a'' und b'', sichtbar sind.

Überhaupt machen die Gegenstände des Augengrundes die Bewegungen der Konvexlinse mit, und zwar um so ausgiebiger, je weiter nach vorn sie liegen; ist doch auch das umgekehrte Bild eines hypermetropischen Auges größer als das eines myopischen.

Ist der Tiefenunterschied zwischen zwei Punkten nicht allzugering, so lässt er sich ziemlich genau erschließen aus der den beiden Punkten entsprechenden Refraktionsdifferenz. Wir wissen nämlich, dass, für das gewöhnliche optische System eines Auges, ein Unterschied der Refraktion von 1 D. einem Drittelmillimeter Unterschied der Achsenlänge entspricht. Finden wir also z. B. am Rande einer ausgehöhlten Papille eine Myopie von 2 D., in deren Grund aber eine solche von 5 D., d. h. einen Unterschied von 3 D., so würde die Tiefe der Exkavation einem Millimeter entsprechen.

Ebenso wichtig wie die Tiefenlage, ist es, den seitlichen Abstand pathologischer Gebilde vom hinteren Pole des Auges, oder vom Sehnervenrande zu kennen. Zu einer ungefähren Schätzung desselben kann der Durchmesser der Papille dienen. Man spricht z. B. von einem Pigmentflecke, der um zwei Papillenbreiten nach außen oben[1]) vom Rande des Sehnerveneintrittes liegt, und erinnert sich daran, dass der Durchmesser der Papille ungefähr 1,5 mm beträgt.

Handelt es sich aber um größere Genauigkeit, so nimmt man die Lagebestimmung eines Punktes des Augengrundes am besten in folgender Weise vor:

Man bringt das Auge in den Mittelpunkt eines Perimeters, und den Bogen desselben in den Meridian, welcher durch die Fossa centralis und den fraglichen Punkt geht. Während das Auge den Scheitel-, resp. Nullpunkt des Perimeters fixiert, führt man dem Bogen entlang einen Augenspiegel, bis man des zu bestimmenden Objektes ansichtig wird. Der Winkel, den dessen Richtungslinie mit der Gesichtslinie bildet, ist am Perimeter direkt abzulesen.

Aus diesem Winkel ließe sich der Abstand des Objektes von der Fossa centralis berechnen. Dies ist aber nur thunlich für nicht allzugroße Einfallswinkel, d. h. für von der Makula nicht allzuweit entfernte Punkte.

---

1) Es ist doch wohl selbstverständlich, dass man, bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde, immer richtig lokalisiert, und nicht, wie man das in gewissen Beobachtungen gedruckt findet, von »unten innen im umgekehrten Bilde« spricht, was in Wirklichkeit »oben außen« heißen soll.

So ergiebt sich, wenn wir die Knotenpunkt-Netzhautdistanz = 15,7 mm setzen,

für 10° = 2,7 mm
» 15° = 4,0 »
» 20° = 5,5 »

Für excentrische Punkte aber ist die Ablenkung, welche die davon herkommenden Lichtstrahlen, bei ihrem schiefen Durchgang durch Linse, vordere Kammer und Hornhaut erleiden, eine so komplizierte, dass man sich bei deren Lokalisation besser auf die Ergebnisse des Experimentes, als auf Berechnung verlässt. Da außerdem diese Ortsbestimmung nicht selten im Interesse eines chirurgischen Eingriffes unternommen wird (Hirschberg 189), so geht man dabei eher von dem erreichbaren Hornhautrande, als von der unzugänglichen Netzhautgrube aus.

So habe ich, aus Hallidie's Berechnungen (213) und Druault's (219), mit demselben sehr gut übereinstimmenden Experimenten, für die, gewissen Richtungen des Augenspiegelbildes entsprechenden Abstände vom Hornhautrande, folgende Mittelzahlen erhalten:

90°	entsprechen	8,8 mm	vom Hornhautrande.
80°	»	10,3 »	»
70°	»	12,0 »	»
60°	»	13,6 »	»
50°	»	15,5 »	»
40°	»	17,2 »	»
30°	»	18,7 »	»

Wenn wir die Ausdehnung der Netzhaut von der Fossa centralis bis zum Hornhautrande = 30 mm setzen (147), so entsprächen, nach unserer Berechnung:

20° = 30 — 5,5 = 24,5 mm.
10° = 30 — 2,7 = 27,3 »

Der Äquator des Auges soll, nach Hallidie, 11 mm vom Hornhautrande abstehen, und einem Winkel von 66 bis 67° entsprechen. Der hintere Pol wäre, nach diesem Autor, nur 21,6 mm vom Hornhautrande entfernt, was, meiner Ansicht nach, nur bei ausnehmend kleinen Augen richtig sein kann.

Das linsenlose Auge ist der ophthalmoskopischen Untersuchung in einer weiteren Ausdehnung zugänglich, als das linsenhaltige, nämlich bis an 6,5 mm (Groenouw), ja 5,5 mm (Druault) vom Hornhautrande, während in letzterem, schon bei 7—8 mm, der Pupillarreflex ausgelöscht ist. Derselbe soll, bei hochgradig myopischen Augen, etwas weiter als bei hypermetropischen sichtbar sein (Groenouw).

Litteratur zu Abschnitt II.

Ophthalmoskopie.

1704. 1. Méry, Histoire de l'académie royale des Sciences. S. 261.
1709. 2. La Hire, Histoire de l'académie royale des Sciences. S. 95.
1759. 2a. Porterfield, On the Eye. IV. S. 423. Edinburgh med. Essays. IX. S. 185.
1801. 2b. Young, Th., Phil. Transact. S. 34.
1810. 3. Rudolphi, Physiologie. I. S. 197.
1826. 4. Esser, in Kostner's Arch. f. d. ges. Naturlehre. VIII. S. 399.
5. Müller, J., Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. S. 49.
1836. 6. Hassenstein, De luce ex quorundam animalium oculis prodeunte atque de tapeto lucido. Jena.
1845. 7. Brücke, E., Anatomische Untersuchungen über die sogenannten leuchtenden Augen bei den Wirbeltieren. J. Müller's Arch. f. Anat. und Physiol. S. 387.
1846. 8. Cumming, On a Luminous Appearance of the Human Eye and its Application to the Detection of Disease of the Retina etc. Med.-chir. Transact. S. 283. London.
1847. 9. Brücke, E., Über das Leuchten der menschlichen Augen. J. Müller's Arch. S. 225 u. 479.
1851. 10. v. Helmholtz, H., Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge. Berlin.
11. Czermak, Das Orthoskop. Prager Vierteljahrsschr. XXXII.
1852. 12. Ruete, Th., Der Augenspiegel und das Optometer. Göttingen.
13. v. Helmholtz, H., Über eine neue einfache Form des Augenspiegels. Vierordt's Arch. f. physiol. Heilk. II. S. 827.
1853. 14. Coccius, A., Über die Anwendung des Augenspiegels nebst Angabe eines neuen Instrumentes. Leipzig.
15. Saemann, H. A. O., De Speculo oculi. Regiomonti.
16. Ulrich, R., Beschreibung eines neuen Augenspiegels. Henle und Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. N. F. IV. S. 175.
17. Meyerstein, Beschreibung eines neuen Augenspiegels. Henle und Pfeuffer's Zeitschr. IV. S. 310.
18. Follin et Nachet, Mém. de la Société de Chirurgie. III.
19. v. Zehender, Ein neuer Augenspiegel. Zeitschr. d. Ges. d. Ärzte. Wien.
1854. 20. Klaunig, Ein neuer Augenspiegel. Deutsche Klinik. No. 16.
21. Donders, F. C., Über die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge. Arch. f. Ophth. I. II. S. 75 u. Nederl. Lancet. 3. Serie. IV. S. 253.
22. Donders, F. C., Verbeteringen van den oogspiegel. Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool. VI. S. 131 u. 153.
23. Stellwag von Carion, Theorie der Augenspiegel. Wien.
24. Anagnostakis, Essai sur l'exploration de la rétine et des milieux de l'oeil sur le vivant au moyen d'un nouvel ophtalmoscope. Paris. Auch in Ann. d'Ocul. XXXI.
25. Ruete, Th., Bildliche Darstellung der Krankheiten des menschlichen Auges. Leipzig. Lief. 1 und 2. Auch unter dem Titel: Physikalische Untersuchung des Auges. S. 23—27.
26. v. Zehender, W., Über die Beleuchtung des inneren Auges mit spezieller Berücksichtigung eines nach eigener Angabe konstruierten Augenspiegels. Arch. f. Ophth. I, 1. S. 121 und II, 2. S. 103.
27. Jaeger, E. v., Über Star und Staroperationen. Wien.
1855. 28. v. Hasner, Über den Augenspiegel. Prager Vierteljahrsschr. XII. S. 133.
29. v. Hasner, Über die Benutzung folierter Glaslinsen. Prag.

1855. 30. Klaunig, Einige Bemerkungen über Augenspiegel von Glas. Deutsche Klinik. No. 46.
31. Stellwag von Carion, Zeitschr. d. Ärzte zu Wien. XI. S. 65.
1856. 32. Jaeger, Ed., Über die Anwendung des Ophthalmoskopes als Optometer. Österr. Zeitschr. f. prakt. Heilk. No. 10.
33. v. Zehender, Über die Beleuchtung des inneren Auges durch heterocentrische Glasspiegel. v. Graefe's Arch. II, 2.
1857. 34. Schneller, Ein Mikrometer am Augenspiegel. Arch. f. Ophth. III, 2. S. 121.
35. Burow, A., Über Konstruktion heterocentrischer Augenspiegel und deren Anwendung. Arch. f. Ophth. III, 2. S. 68.
1859. 36. Seydeler, Der Augenspiegel aufs eigene Auge angewendet. Prager Vierteljahrsschr. No. 11.
37. Giraud-Teulon, Théorie de l'ophtalmoscope, avec les déductions pratiques qui en découlent etc. Gaz. méd. de Paris. No. 7 u. 8.
38. Zander, Adolph, Der Augenspiegel. Seine Formen und sein Gebrauch. Leipzig und Heidelberg.
1860. 39. Liebreich, R., Methode, dem umgekehrten Bilde bei kurzsichtigen Augen eine starke Vergrößerung zu geben. Arch. f. Ophth. VII, 2. S. 124.
40. Liebreich, R., Veränderungen an meinem Augenspiegel; Mikrometer. Arch. f. Ophth. VII, 2. S. 134.
41. Streatfield, The Sun-Ophthalmoscope. Ophth. Hosp. Rep. II, 11. S. 339.
1861. 42. Giraud-Teulon, Ophtalmoscopie binoculaire. Ann. d'Ocul. XLV. S. 233 und Ophtalmoscope binocul. à lumière électrique. Gaz. hebd. No. 50. S. 815. 1887.
43. Giraud-Teulon, Note sur la construction et les propriétés d'un nouvel ophtalmoscope etc. Compt. rend. III. S. 646 et in Physiol. et path. fonctionelle de la vision binoculaire. §§ 347—350. Paris.
44. Janssen et Follin, Considérations physiologiques sur l'éclairage et ses applications à l'ophtalmoscopie. Arch. Gén. de méd. Juillet und Écho méd. S. 405.
1863. 45. Liebreich, R., Über einige Modifikationen an seinem großen Augenspiegel. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. I. S. 485.
46. v. Zehender, Ophthalmoskopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. I. S. 534.
47. v. Zehender, Autophthalmoskopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. I. S. 230.
48. Heymann, Autoskopie der Augen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. I. S. 184.
49. Burow, Notiz, betreffend die Beobachtung des eigenen Augenhintergrundes. Arch. f. Ophth. IX, 1. S. 155.
50. de Wecker, Ann. d'Ocul. IL. S. 25.
51. Giraud-Teulon, Nouvelle méthode pour l'examen auto-ophtalmoscopique. Ann. d'Ocul. S. 181 und De l'auto-ophtalmoscope de M. Coccius. Gaz. des Hôp. S. 62.
52. Laurence, G. Z., et Giraud-Teulon, D'une modification des procédés ophtalmoscopiques. Ann. d'Ocul. L. S. 106.
53. Heymann, L'auto-ophtalmoscope. Ann. d'Ocul. L. S. 34.
1864. 54. Lawrence, Über einen Augenspiegel. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 421.
55. Knapp, Exposé des avantages de l'ophtalmoscope binoculaire. Ann. d'Ocul. LI. S. 33.
56. Monoyer, Un ophtalmoscope portatif. Ann. d'Ocul. LII. S. 210.
1865. 57. Schweigger, C., Vorlesungen über den Gebrauch des Augenspiegels. Berlin. Nederduitsch door G. A. J. Baum. Utrecht.
1866. 58a. v. Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Ausg. 1896. S. 217.

1866. 58b. v. Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Ausg. 1896. S. 219.
58c. v. Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Ausg. 1896. S. 212 (Satz IIIa).
58d. v. Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Ausg. 1896. S. 62.
1867. 59. Mauthner, Lehrbuch der Ophthalmoskopie. Wien.
60. Giraud-Teulon, D'une nouvelle combinaison ophtalmoscopique. Ann. d'Ocul. LVII. S. 82.
1869. 60a. Poncet, Ophtalmoscope à chambre noire. Gaz. hebdom. de méd. et de chir. No. 32. S. 501.
61. Gariel, C. M., Sur l'ophtalmoscope. Paris.
1870. 62. Schweigger, C., Über die Größe des ophthalmoskopischen Bildes. Nachrichten v. d. königl. Ges. d. Wissensch. und der G. A. Universität Göttingen. April. No. 9.
63. Loring, E. G., Determination of the optical condition of the eye by the ophthalmoscope, with a new modification of the instruments for that purpose. Amer. Journ. of med. Sc. April. S. 323—347.
64. de Wecker et Roger, Objectif à prismes pour l'usage d'un ophtalmoscope démonstratif. Bull. de l'Acad. des Sc. 4. April.
65. Schweigger, Handbuch der speziellen Augenheilkunde. S. 107.
1870. 66. Landolt, E., La distanza tra la macula lutea e la papilla del nervo ottico. Ann. di Ottalm. S. 65.
1871. 66a. Burke, Ophtalmoscope réflecteur. Havre.
1872. 67. Schnabel, Über die Lage und Größe des aufrechten Bildes im Augenhintergrunde. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 119.
67a. Oldham, Über ein verbessertes Ophthalmoskop. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. X. S. 287.
68. Carter, Ein Augenspiegel neuer Konstruktion. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. X. S. 282.
69. Schröder, Neuer binokulärer Augenspiegel von Coccius. Klin. Monatsblätter f. Augenheilk. X. S. 288.
70. Leber, Th., Der Augenspiegel. Berlin.
71. Hogg, James, Ophtalmoscope à démonstration. Med. Times and Gaz.
72. Sichel fils, A., Note sur un ophtalmoscope à deux observateurs, pour les démonstrations. Ann. d'Ocul. LXVII. S. 57.
1873. 73. Laqueur, Mikrometrie des Augenhintergrundes. Centralbl. f. d. med. Wissensch. S. 930.
74. Hock, Über die ophthalmoskopische Untersuchung der Augen. Mitt. d. ärztl. Vereins in Wien. II. S. 5.
75. Hennum, J. O., Om Undersögelsen af öjet med Planspejl i opret Billede. Norsk. Magaz. f. Lägevid. S. 709.
76. Magnus, Hugo, Die makroskopischen Gefäße der menschlichen Netzhaut. Versuch einer Schematisierung und Nomenklatur des Netzhautgefäßsystems. Habilitationsschrift. Leipzig, Engelmann.
77. Knapp, Demonstration of some new Instruments. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 107—112.
78. de Wecker et Crétès, Ophtalmoscope à réfraction. Ann. d'Ocul. LXX. S. 207 u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 266 u. 363.
79. Cohn, H., Eine neue ophthalmoskopische Vorrichtung betreffend. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 302 et Ann. d'Ocul. LXX. S. 244.
80. Schnabel, Position et grandeur de l'image droite du fond de l'oeil. Ann. d'Ocul. LXX. S. 236.
81. Schneller, De l'image ophtalmoscopique des gros vaisseaux rétiniens. Ann. d'Ocul. LXX. S. 176.
82. Purves, L. W., A Contribution to Ophthalmoscopy. London.
83. Noyes, De l'application de la chambre claire à l'ophtalmoscope. Transact of the Amer. Ophth. Soc. 9. jährl. Kongress New York, 1873—1880 und Ann. d'Ocul. LXXII. S. 280.

1873. 84. Crétès, Ophtalmoscope à réfraction de M. de Wecker. Gaz. des Hôp. S. 557.

85. Donders, F. C., De lichtstreep op de netvliesvaten Bijbladen 14 de Verslag. Nederl. Gasthuis voor Ooglijders. S. 29—30.

1874. 86a. Landolt, E., Ophthalmoskopie. Handb. d. ges. Augenheilk. 1. Aufl. III. S. 93.

86b. Landolt, E., Le grossissement des images ophtalmoscopiques. S. 39. Paris 1874 und in de Wecker et Landolt, Traité complet d'Opht. I. S. 812 u. 814. Paris.

87a. Knapp, Vorzeigung einiger Instrumente. Ophth. Ges. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 379—382.

87b. Loring, E. G., A new Modification of the Ophthalmoscope. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 161—162; Amer. Journ. of med. Soc. LXVII. S. 114—116.

88. Berg, A., En ögonspegel till bestämmande of Refraction. Hygiea. S. 7.

89. Stammeshaus, Über eine Methode, dem aufrechten Bilde eine stärkere Vergrößerung zu erteilen, sowie über die Größe des Gesichtsfeldes bei Untersuchung im aufrechten Bilde. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XII. S. 1.

90. Laqueur, Micrométrie du fond de l'oeil. Ann. d'Ocul. LXXII. S. 303.

91. Cohn, H., Refraktionsophthalmoskop. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XII. S. 37.

92. Heiberg, Hjalmar. Om Oejenspejl. Norsk. Mag. f. Lägevid. III, 4. Föhr. S. 41.

92a. Smith, Priestley, Demonstrationsophthalmoskop. Brit. med. Journ. 19. Dez. S. 776.

93. Monoyer, F., Revue méd. de Nancy.

94. Landolt, E., Le grossissement des images ophtalmoscopiques. Paris.

95. Giraud-Teulon, Sur une nouvelle méthode de l'image ophtalmoscopique. Gaz. Hebd. No. 16. S. 252. Gaz. des Hôp. S. 429 und Ann. d'Ocul. LXXI. S. 280.

96. Knapp, Augenspiegel zur Refraktionsbestimmung. Arch. f. Augen- und Ohrenheilk. IV, 1. S. 112.

97. Loring, E. G., The light streak of the retinal vessels as a diagnostic sign. New York med. Journ. XIX. S. 30—33. Jan.

1875. 98. Panas, Nouvel ophtalmoscope à deux faces etc. Ser. de Chir. 17. März und Bull. de l'Acad. No. 13.

99. Nettleship, Note on the retinal blood vessels of the yellow spot region. Ophth. Hosp. Rep. VIII. S. 260.

100. Giraud-Teulon, Ophtalmoscopi métrique. Gaz. des Hôp. S. 1101.

101. Jacobi, Jos., Über die gewöhnlichen Pulsphänomene im menschlichen Augenhintergrunde. Med. Centralbl. XIII, 2. S. 19.

102. Daguenet, Manuel d'ophtalmoscopie. Paris.

103. Berthold, Eine Beschreibung einer einfachen Methode, vermittelst derer zwei Beobachter gleichzeitig den Augengrund, das Trommelfell oder den Kehlkopf untersuchen können. Berliner klin. Wochenschr. No. 25. S. 351.

104. de Toro, Ophthalmoscope fixe de MM. Burk et Sichel. Cronica Oftalm. Juin. S. 52. Cadiz.

105. Haynes, Walton, Examination of the Eyeball by lateral or oblique illumination. Med. Press and Circ. 29. Dez.

106. Monoyer, F., Sur un ophtalmoscope à trois observateurs. Acad. des Sc. Compt. rend. LXXX. S. 962—963. 12. April.

107. Brecht, Über den Reflex in der Umgebung der Macula lutea. Mit 2 Tafeln. Arch. f. Ophth. XXI, 2. S. 126.

1876. 108. Jaeger, E., Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Augenspiegel; ihr Wert für die allgemeine Pathologie. Wien.

109a. Saemisch, Th., Konvexprismatische Brille. 1. Aufl. d. Handb. IV, 3. S. 18.

109b. Klein, S., Der Augenspiegel und seine Anwendung. Wiener Klinik.

110. Badal, Ophtalmoscope à réfraction. Ann. d'Ocul. II. S. 242.

111. Higgens, Ch., Exploration ophthalmoscopique indirecte. Med. Times and Gaz. 9. und 23. Sept.

112. Pufahl, Refraktionsophthalmoskop. Deutsche Zeitschr. f. prakt. Med. S. 31.

113. Förster, Méthode simple pour fixer devant l'oeil le miroir à réflexion. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. X. S. 243.

114. de Wecker, Ophtalmoscope métrique. Ann. d'Ocul. LXXV. S. 150.

115a. Landolt, E., Die Vergrößerung des aufrechten ophthalmoskopischen Bildes. Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 21.

115b. Landolt, E., Ein Refraktionsophthalmoskop. Ophth. Hosp. Rep. VIII. S. 632; Ann. d'Ocul. LXXV. S. 227 und Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIV. S. 223. — de Wecker et Landolt, Traité complet. I. S. 865.

116. Schmidt-Rimpler, Ophthalmoskopische Refraktionsbestimmung und Brennweite des konkaven Augenspiegels. Sitzungsber. d. Ges. z. Beförderung d. ges. Naturwissensch. Marburg. No. 10.

117. Schöler, H., Neue Hilfsapparate für ophthalmoskopische Untersuchungen. Jahresber. d. Augenklinik. S. 51.

118. Loring, E. G., Ophthalmoscope with the metric system. Internat. ophth. Kongr. S. 81.

119. Weiss, L., Messung des Augenspiegelbildes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXII, 3. S. 1—124.

120. Badal, Mesure des differences de niveau du fond de l'oeil. Soc. de Biol. 16. Déc.

121. Wadsworth, A., Modification of the ophthalmoscope. Boston Soc. of med. Sc. 26. Dec.

1877. 122. Hirschberg, J., Über Refraktionsophthalmoskope. Deutsche Zeitschr. f. prakt. Med. No. 32 u. 33.

123. Donders, F. C., Die Grenzen des Gesichtsfeldes in Bezug zu denen der Netzhaut. Arch. f. Ophth. XXIII, 2. S. 255.

124. Kramsztyk, Ausmessen des erleuchteten Augengrundes. Med. No. 41.

125. Peppmüller, v. Graefe und Fränk, Demonstrationsaugenspiegel. 50. Vers. deutscher Naturf. S. 332.

1878. 126. Landolt, E., Compte rendu de sa clinique pour l'année 1878. (Ophthalmoskop zur Mikrometrie des Augengrundes.)

126a. v. Hasner, Über die Vergrößerung der Retinabilder. Prager Vierteljahrsschr. CXXXVIII. S. 39.

127. Loring, A new modification of the ophthalmoscope. Transact of the Amer. Ophth. Soc. S. 489 und Eulenburg's Realencycl. XVII. S. 539.

128. Stilling, J., Zur Untersuchung des Augenhintergrundes. Vers. d. Naturf. u. Ärzte. S. 116.

129. Landolt, E., Manuel d'ophtalmoscopie. Paris. — Handleiding bij het gebruik van den Oogspiegel, übersetzt v. Bouvin. Leiden. — Manual del oftalmoscopio, übersetzt v. De La Peña. Madrid.

132. Engelhardt, Über eine neue Form des Augenspiegels. Vers. d. Naturf. u. Ärzte. S. 166.

1879. 134. Parent, Miroirs à foyer court pour l'image droite et à foyer long pour l'image renversée. Rec. d'Opht. S. 709.

135. Landolt, E., Manual of examination of the eyes. S. 230—308.

137. Stilling, J., Orthoskopie des Augengrundes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 52.

1880. 138. Landolt, E., Lecture on the enlargement of ophthalmoscopic images. Brit. med. Journ. I. S. 1.

139. Schnabel, J., Ophthalmoskopische Vergrößerung. Arch. f. Augenheilk. IX, 3. S. 287.

140. Parent, Etude sur les reflets de la rétine. Rec. d'Opht. S. 455.

141. Couper, J., On a new ophthalmoscop. Ophth. Hosp. Rep. X, 1. S. 56.

142. Schweigger, Handbuch der Augenheilkunde. Berlin. 4. Aufl.

143. Nagel, Die optische Vergrößerung durch Linsen. Mitt. a. d. ophth. Klinik in Tübingen.

144. Schneller, Lehre von der Ernährung der Netzhaut. Arch. f. Ophth. XXVI, 1. S. 1.

1881. 145. Reid, On the direct measurement of ophthalmoscopie objects. Brit. med. Journ. I. S. 10.

146. Ulrich, Rich., Das ophthalmoskopische Gesichtsfeld. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 186.

147. Landolt, E., Les fonctions rétiniennes. Arch. d'Opht. I. S. 193.

148. Parent, H., Ophtalmoscope à réfraction métrique. Ann. d'Ocul. LXXXV.

1882. 149. Hirschberg, J., Arch. f. Physiol. S. 901 u. Centralbl. f. Augenheilk. S. 504.

150. Hirschberg, J., Corneallampe. Eulenburg's Realencycl. 1. Aufl. X. S. 134.

150a. Hirschberg, J., Ophthalmoskopie. Eulenburg's Realencycl.

151. Schöler, Refraktionsophthalmoskop. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 612.

152. Uhthoff, W., Refraktionsophthalmoskop zur Bestimmung des Astigmatismus. 14. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 167.

153. Fuchs, F. (Bonn), Vorschlag zur Konstruktion eines Augenspiegels mit neuen Reflexions- und Polarisationsvorrichtungen. Zeitschr. f. Instrumentenk. Sept.

1883. 154. Juler, H., An improved ophthalmoscope. Brit. med. Journ. II. S. 95 u. 327.

155. Fuchs, F., Beobachtungen der Netzhaut im umgekehrten Bilde. Verhandl. d. naturw. Ver. VL. 4. Folge. X.

156. Burchardt, Refraktionsbestimmung im aufrechten Bild. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dez.

156a. Schulten, Beobachtung des Augenhintergrundes bei hochgradiger Vergrößerung. Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 285.

157. Couper, A new refraction ophthalmoscope. Med. Times and Gaz. No. 1719.

158. Parent, Ophtalmoscope à verres cylindr. Ann. d'Ocul. XC. S. 130.

159. Schöler, Platinglasspiegel. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 522.

160. Morton, A. Stanford, A students ophthalmoscope. Curry and Paxton's price-list.

161. Ostwald, F., Reflexstreifen an den Netzhautblutgefäßen. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Febr./März.

1884. 162. Heuse, Ein Lichtreflex der Retina. Arch. f. Ophth. XXX, 1. S. 555.

163. Birnbacher, Eine Glühlichtlampe zum Ophthalmoskopieren in der Rückenlage. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 188.

164. Mayerhausen, Vorschlag zur Bezeichnung der Augenspiegel, sowie der optischen Spiegel überhaupt. Berliner klin. Wochenschr. No. 36. S. 575.

1885. 165. Dennett, The electric light ophthalmoscope. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 149 u. 1886. S. 156.

166. Schmidt-Rimpler, Ophthalmoskopische Refraktionsbestimmung. Comp. internat. des Sc. méd. S. 207. Kopenhagen.

167. v. Zehender, Demonstration der Wirkung schiefstehender sphärischer Linsen. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 232.

168. Imbert, A., Nouveau procédé de vérification des verres cylindriques. Ann. d'Ocul. XCIII. S. 243.

1886. 169. Juler, Ophthalmoscope with electric light. Transact. of the Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. VI. S. 502 und Ophth. Rev. S. 56.

170. v. Zehender, Eine binokuläre Corneallupe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 504.

171. Vales, The diagnosis of astigmatisme with the ophthalmoscope. New York med. Rec. XXIX. S. 673.

172. Reid, Polarisation-ophthalmoscope. Ophth. Rev. S. 156.

1887. 173. Heuse, Ein Lichtreflex der Retina. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXX, 1. S. 555.

174. Jessop, W., Ophthalmoscope for students etc. Brit. med. Journ. II. S. 724.

175. Risley, An ophthalmoscope with cylinders. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 587.

176. Westien, Corneallupe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 466.

1888. 176a. Bellarminow, Neues Verfahren, den Augenhintergrund zu besichtigen. Berliner med. Ges. u. Münchener med. Wochenschr. S. 865 und Russkaja Medizina. No. 44.

176b. Vossius, A., Leitfaden zum Gebrauch des Augenspiegels. 2. Aufl. Berlin, A. Hirschwald.

1889. 176c. Borthen Lyder, Refraktionsophthalmoskop. Nord. ophth. Tidsskr. II. S. 105 und Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 424.

177. Groenouw, A., Wo liegt die vordere Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Augenhintergrundes? Arch. f. Ophth. XXXV, 3. S. 29.

178. Hirschberg, J., Der graublasse Hof um die Netzhautgrube. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juli. S. 201.

179. Königstein, L., Praktische Anleitung zum Gebrauch des Augenspiegels. Wien u. Leipzig, Urban & Schwarzenberg.

180. Schweigger, Über den elektrischen Augenspiegel. Arch. f. Anat. u. Physiol. No. 3—4. S. 365.

1890. 181. Thorner, Walther, Ein neuer stabiler Augenspiegel mit reflexlosem Bilde. Zeitschr. f. Physiol. d. Sinnesorgane. XX. S. 294.

182. Gowers, H. A., A manual and atlas of medical ophthalmoscopy. London, Churchill. 386 S. 3. Aufl.

1891. 183. Aubert, Demonstration eines binokularen Hornhautmikroskopes. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 260.

184. Parent, H., Ophtalmoscope optométrique et phakométrique. Roulot. Paris.

184a. Schnabel, Über die Beleuchtung des Gesichtsfeldes bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 30.

185. Schweigger, Über objektive Bestimmung der Refraktion an dem elektrischen Augenspiegel. Festschr. f. v. Helmholtz. S. 84.

186. Loring, Text-book of Ophtalmoskopy. Appleton. New York.

187. Davis, The light streak as seen upon the retinal vessels etc. Arch. f. Ophth. XX. S. 47.

188. Dimmer, Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut. Fr. Durlike, Leipzig.

189. Hirschberg, J., Centralbl. f. Augenheilk. S. 321 u. Magnetoperation. 1899. S. 74.

1892. 190. Aubert, Binokulares Hornhautmikroskop. 21. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 260.

191. Davis, A reply to Mr. Story as to the causes of the light-streak on the retinal vessels. Ophth. Rev. S. 235.

192. Dimmer, Beiträge zur Ophthalmoskopie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 4. S. 19.

1892. 193. Dimmer, Über die Reflexstreifen auf den Netzhautgefäßen. 21. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 5.
194. Guilloz, T., Exam. binocul. de l'image renversée du fond de l'oeil. Arch. d'Opht. XII. S. 224.
195. Johnson, H. L., Bemerkungen über die Macula lutea. Arch. f. Augenheilk. XXV. S. 157.
196. Johnson, H. L., Observat. on the macula lutea. Arch. Ophth. XXI. S. 1.
197. Derby, H., The arc-light adapted for the Ophthalmoscopy. Boston med. and Sc. Journ. June.
198. Schnabel, Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel. Prager med. Wochenschr. No. 30.
199. Story, J. B., The light streak on the retinal vessels. Ophth. Rev. S. 100.
1893. 200. Dimmer, F., Der Augenspiegel und die ophthalmologische Diagnostik. 2. Aufl. Leipzig und Wien.
201. Fick, Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bild. Verhandl. d. Ges. deutscher Naturf. u. Ärzte. 65. Vers. zu Nürnberg. II, 2.
1894. 202. Guilloz, Th., Champ d'observation dans l'examen ophtalmosc. à l'image droite. Arch. d'Opht. XIV. S. 118 u. 163.
203. Proskauer, Th., Ein kleiner Beitrag zur Autophthalmoskopie. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April. S. 108.
204. Ferri, L., Della grandezza del campo di osservazione nell' exame oftalmoscopico. Ann. di Ottalm. XXIII. S. 180.
205. Birnbacher, Ein Apparat zur Durchleuchtung des Auges. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. August. S. 227.
1895. 205a. Greeff, R., Prof. C. Schweigger's Vorlesungen über den Gebrauch des Augenspiegels. Wiesbaden, Bergmann.
206. Schanz, F., Ein Hornhautmikroskop und ein Netzhautrohr mit konaxialer Beleuchtung. Arch. f. Augenheilk. XXXI. S. 265 und Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. 1898. S. 336.
207. Eversbusch, Eine Augenspiegellampe für Gas- und elektrische Beleuchtung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 452.
208. Beckmann, A., Ein neuer ophthalmoskopischer Reflektor. Wratsch. XVI. S. 1287.
209. Guilloz, Th., Champ d'observation dans l'examen ophtalmosc. à l'image renversée. Arch. d'Opht. XV. S. 84 u. 239.
210. Guilloz, Th., Sur le diagnostic ophtalmoscopique de l'astigmatisme. Arch. d'Opht. XV. S. 372.
1896. 211. v. Helmholtz, Physiologische Optik. 2. Ausgabe. S. 212, Satz 3a.
212. Wolff, H., Skiaskop mit selbstthätigem Spiegelapparat. Elektrisches Ophthalmoskop. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 320.
213. Hallidie, Topography of the emmetropic fundus. London Ophth. Hosp. Rep. II. S. 361.
214. Jackson, A binocular magnifying lens for examination of the eye. Amer. Ophth. Soc. XXXII. S. 741.
215. Haab, O., Atlass und Grundriss der Ophthalmoskopie. 2. Aufl. München, Lehmann.
1897. 216. Dimmer, F., Beiträge zur Ophthalmoskopie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIV, 1. S. 1.
216a. Wessely, K., Autophthalmoskopie. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 303.
217. Haab, O., Skizzenbuch zur Einzeichnung von Augenspiegelbildern. 2. Aufl. München, Lehmann.
218. Neuschüler, L'ophtalmochromoscopie. Rec. d'Opht. S. 643.
1898. 219. Druault, A., Situation des images rétiniennes formées par les rayons très obliques sur l'axe optique. Arch. d'Opht. XVIII. S. 685.

1899. 220. Thorner, Walther, Ein neuer stabiler Augenspiegel mit reflexlosem Bilde. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XX. S. 294.
221. Czapsky, Arch. f. Ophth. XLVIII, 1. S. 229.
1900. 222. Thorner, Walther, Ein stereoskopischer Augenspiegel. Deutsche Med.-Zeit. S. 169 u. Arch. f. Augenheilk. XLII. S. 78.
223. Wolff, Hugo, Ophthalmoskopische Beobachtungen mit dem elektrischen Augenspiegel. Zeitschr. f. Augenheilk. IV. S. 101.
224. Wolff, Hugo, Über eine neue Untersuchungsmethode des Augenhintergrundes im umgekehrten und im aufrechten Bilde mit einem neuen elektrischen Augenspiegel. Berliner klin. Wochenschr. No. 16.
1901. 225. Hirschberg, J., Einführung in die Augenheilkunde. II. S. 76.
226. Uhthoff, Bemerkungen zur Erfindung des Augenspiegels vor 50 Jahren. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg.
227. Theobald, S., The evolution of the ophthalmoscope etc. New York med. Journ. June.
228. Johnson, G. Lindsay, Contributions to the comparative anatomy of the mammalian eye. Philos. Transact. of the R. Soc. of London.
1902. 229. Suker, A. F., A self illuminating ophthalmoscope. Ophth. Rec. S. 428.

III. Ophthalmometrie.

Von

Dr. E. Landolt.

Mit Fig. 53—94.

§ 30. »Ophthalmometer« hat v. Helmholtz das Instrument genannt, mit welchem er die Krümmung der brechenden Flächen des Auges gemessen, ihren Ort, den Index seiner Medien, seine Centrierung, ja selbst die Lage seines Drehpunktes bestimmt, und so den Grund der physiologischen Optik gelegt hat.

Mir scheint, wir sollten dem Worte seine volle Bedeutung lassen, und Instrumente, die nur einen kleinen Teil dieser großen Aufgabe zu lösen geeignet sind, wie die so viel verbreiteten Instrumente zur Messung der Hornhautkrümmung, Keratoskope resp. Keratometer heißen.

Wie das Ophthalmometer, so verdanken wir auch die Hauptmethoden seiner Anwendung und die weitaus wichtigsten damit ausgeführten Arbeiten dem Genius von v. Helmholtz. Es wird deshalb, zu allen Zeiten, jeder, der sich mit der Ophthalmometrie genau bekannt machen will, vor allem die klassischen Arbeiten studieren müssen, welche der große Meister in den zwei ersten Bänden des Graefe'schen Archives (1854 und 1855), sowie in seiner physiologischen Optik niedergelegt hat (19, 20, 43).

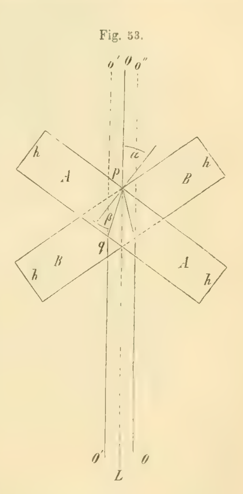
In diesem Handbuche müssen wir uns darauf beschränken, den Gang der Untersuchung, sowie die Schlussformeln zu geben, und verweisen diejenigen, welche die Berechnungen genauer kennen lernen wollen, auf die

Arbeiten v. HELMHOLTZ's, und derjenigen, die sein Werk weitergeführt haben: DONDERS, KNAPP, WOINOW, COCCIUS, MAUTHNER, v. REUSS u. a.

v. HELMHOLTZ's Ophthalmometer ist basiert auf dem Prinzipe des in der Astronomie gebrauchten Heliometers. Seinen Hauptbestandteil bilden in der That zwei genau gleiche, übereinander stehende, planparallele Glasplatten AA und BB (Fig. 53). Das beobachtende Auge blickt durch dieselben so, dass die Trennungslinie der Platten seine Pupille gerade halbiert.

Stehen die Platten beide senkrecht zur Verbindungslinie OL, von Objekt O und Fossa centralis L des Auges, so haben sie keinen Einfluss auf den Gang der Strahlen; dreht man sie aber, um eine zu dieser Linie senkrechte Achse, in entgegengesetztem Sinne, so wird jeder Strahl, bei seinem Eintritte in die Platte A, erst dem Perpendikel zu (pq), bei seinem Austritte wieder gleichviel davon abgelenkt (qO'). Dasselbe findet statt für die Platte B, nur nach der anderen Seite (O'') hin. So gelangen, von jedem Objektpunkte O, zwei Strahlen O' und O'' in das Auge, welches also das Objekt, durch die eine Platte in der einen, durch die andere in der anderen Richtung verschoben, also doppelt sieht. Statt des Objektes O, erscheinen ihm deren zwei, o' und o''.

Fig. 53.



Der Abstand zwischen den Doppelbildern ist offenbar abhängig von dem Brechungsexponenten, von der Dicke der Platten, und dem Einfallswinkel, d. h. von dem Winkel, um welchen man dieselben gedreht hat.

Kennt man die beiden ersteren, so braucht man nur die Platten so stark zu drehen, bis die entgegengesetzten Ränder der beiden Doppelbilder sich berühren, und den dazu nötigen Winkel an der Einteilung des Instrumentes abzulesen.

Eine Schraubenvorrichtung macht es möglich, beide Platten gleichzeitig um gleichviele Grade zu drehen. Dreht man dieselben um 360°, d. h. durchläuft jede von ihnen, in entgegengesetztem Sinne, einen Kreis, dann kommen sie offenbar viermal, d. h. in jedem Quadranten einmal, in die gegenseitige Stellung, bei welcher das Objekt verdoppelt erscheint. Man kann also auf diese Weise die Messungen kontrollieren.

Der Durchmesser E des beobachteten Gegenstandes ergiebt sich dann aus folgender Formel:

$$E = 2h \cdot \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (1)$$

worin h = Dicke der Platten.

α = Einfallswinkel des vom Objekte ausgehenden Richtungsstrahles zu der Platte, also gleich dem Winkel, um welchen man jede einzelne Platte gedreht hat.

β = zugehöriger Berechnungswinkel; aus dem Brechungsexponenten des Glases n, und dem Einfallswinkel α zu berechnen:

$$\sin \cdot \beta = \frac{\sin \cdot \alpha}{n}.$$

Da in der Formel für E nur Größen vorkommen, die im Instrumente selbst enthalten sind, so kommt der Abstand zwischen diesem und dem Objekte gar nicht in Betracht.

Um auch kleine und ferne Objekte genau messen zu können, ist dicht hinter den Platten ein Galiläi'sches Fernrohr A (A Fig. 54, P Fig. 56) angebracht, und zwar so, dass der Durchmesser seiner Öffnung bei allen Stellungen der Platten mit ihrer Trennungsebene zusammenfällt.

Ein Hauptvorteil dieser Methode ist außerdem der, dass kleine Verschiebungen des Objektes dabei nicht in Betracht kommen. In der That ist es unmöglich, mit einem gewöhnlichen Instrumente sich bewegende Gegenstände zu messen, weil man nie zu gleicher Zeit die Stellung der beiden Endpunkte des Objektes zu den Teilstrichen des Maßstabes beobachten kann. Beim Ophthalmometer dagegen, bleibt das Maß, d. h. die Drehung der Platten, welche nötig ist, um die Doppelbilder des Objektes in Kontakt zu bringen, in allen seinen Lagen dasselbe. Man misst sozusagen das Objekt mit sich selbst. Deshalb eignet sich das Ophthalmometer auch ganz besonders zur Messung der Reflexbilder des selten vollkommen ruhigen Auges.

v. Helmholtz beschreibt (S. 11 seiner »Physiologischen Optik«) sein Ophthalmometer in folgender Weise: »Das Ophthalmometer ist im wesentlichen ein Fernrohr, zum Sehen auf kurze Distanzen eingerichtet, vor dessen Objektivglas nebeneinander zwei Glasplatten stehen, so dass die eine Hälfte des Objektivglases durch die eine, die andere durch die andere Platte sieht. Stehen beide Platten in einer gegen die Achse des Fernrohres senkrechten Ebene, so erscheint nur ein Bild des betrachteten Objektes, dreht man aber beide Platten ein wenig, und zwar nach entgegengesetzten Seiten, so teilt sich das einfache Bild in zwei Doppelbilder, deren Entfernung desto größer wird, je größer der Drehungswinkel der Glasplatten. Diese Entfernung der Doppelbilder aber kann aus den Winkeln, welche die Platten mit der Achse des Fernrohres machen, berechnet werden. Stellt man die

beiden Doppelbilder einer zu messenden Linie so aufeinander ein, dass sie sich gerade mit ihren Enden berühren, so ist die Länge der Linie gleich der Entfernung der beiden Doppelbilder voneinander und wie diese zu berechnen.

Fig. 54.

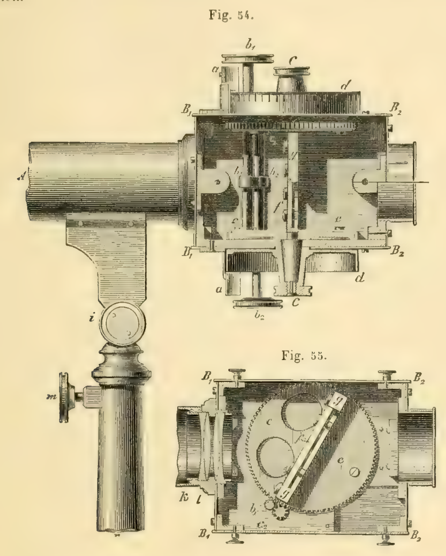


Fig. 55.

Das Instrument ist in Fig. 54 in einer vertikalen Ansicht gezeichnet, in Fig. 55 in einem horizontalen Durchschnitte, in halber natürlicher Größe. Der viereckige Kasten $B_1 B_1 B_2 B_2$, welcher die ablenkenden Glasplatten enthält, ist am vorderen Ende des Fernrohres A befestigt. In Fig. 54 ist die vordere Wand des Kastens weggenommen, und außerdem sind alle Teile der unteren Hälfte in der Mittelebene durchschnitten gedacht. Die Grundlage des Kastens bildet ein starker viereckiger Rahmen, den man in Fig. 55 rings um den Kasten laufen sieht; an diesem sind dünne Messingplatten als Wände befestigt. In der Mitte der horizontalen Teile des Rahmens sind konische Durchbohrungen vorhanden, in denen die

Drehungsachsen CC (Fig. 54) der beiden Gläser laufen. Jede der Achsen trägt außerhalb des Kastens eine Scheibe d, deren cylindrischer Umfang in Winkelgrade geteilt ist; bei a ist ein Nonius angebracht, mittelst dessen Zehnteile eines Grades abgelesen werden können. Innerhalb des Kastens trägt jede Achse zunächst ein Zahnrad ee (Fig. 55) und einen Metallrahmen g, in welchem die Glasplatte f befestigt ist. Der Rahmen jeder Platte hat aber nur drei Seiten, die der anderen Platte zugekehrte Seite derselben fehlt. Die beiden Glasplatten bildeten ursprünglich eine planparallele Platte. Für diese wurde ein vollständiger Metallrahmen gemacht, und zwischen den Flächen der beiden Zahnräder befestigt, dann die Achsen abgedreht, und endlich der Rahmen in der Mitte durchschnitten. Ebenso wurde das Glas durchschnitten, jede Hälfte in der entsprechenden Hälfte des Rahmens befestigt. So wurde eine genau übereinstimmende Stellung der Platten auf den beiden Achsen erreicht. Bewegt werden die Zahnräder durch die Triebe c_1 und c_2, die an den Achsen b_1c_1 und b_2c_2 befestigt sind. Jede dieser Achsen trägt außerdem in ihrer Mitte einen Trieb h. Dreht man den Knopf bei b_1, so wird mittelst des Triebes c_1 das untere Zahnrad mit der unteren Glasplatte bewegt. Außerdem greift der Trieb h_1 in den Trieb h_2 und dreht die zweite Achse b_2c_2 um ebensoviel in der entgegengesetzten Richtung. Infolgedessen wirkt auch der Trieb c_2 auf das obere Zahnrad, und dreht dieses mit der oberen Glasplatte um einen nahe ebenso großen Winkel wie die untere Platte. Gemessen wird die Drehung jeder Platte mittelst der außerhalb des Kastens auf die Drehungsachse aufgesetzten geteilten Scheiben.

Es ist notwendig, zwei Platten anzubringen, welche um nahe gleiche Winkel gedreht werden, weil die Bilder der durch die Platten gesehenen Objekte nicht bloß seitlich verschoben, sondern auch ein wenig genähert werden, und wenn die Näherung für die beiden Bilder desselben Gegenstandes ungleich groß ist, man das Fernrohr nicht gleichzeitig auf beide genau einstellen kann.

In das vordere Ende des Fernrohres sind zwei Objektivlinsen einzusetzen (k und l). Die achromatische Doppellinse k allein wird gebraucht, wenn man entferntere Objekte zu betrachten hat. Ihre bikonvexe Crownglaslinse wird wie gewöhnlich dem Objekte zugekehrt. Will man dagegen sehr nahe Objekte betrachten, so giebt eine einzelne Linse kein gutes Bild mehr, weil diese Linsen darauf berechnet sind, parallel einfallende Strahlen in einen Punkt zu vereinigen. Deshalb setzte ich dann eine zweite achromatische Doppellinse l ein, deren Crownglas der anderen zugekehrt ist. Steht dann das Objekt im vorderen Brennpunkte dieser zweiten Linse, so macht sie die Strahlen parallel, die erste Linse vereinigt die Strahlen in ihrem hinteren Brennpunkte. Dadurch erhält man schärfere Bilder. Die Brennweite von k ist bei meinem Instrument 6 Zoll, die von l 16 Zoll.

Das Fernrohr ruht auf einer Säule n, in der ein Cylinder gedreht, sowie auch auf- und abbewegt werden kann. Auf diesem ist mittelst des Charniergelenkes i das Fernrohr befestigt. So kann man der Fernrohrachse beliebige Stellungen geben. Außerdem ist auch der Kasten mit den Gläsern drehbar um das vordere Ende des Fernrohres.«

Ehe man ein Ophthalmometer benutzen kann, muss man seine Wirkungsweise genau kennen, d. h. man muss bestimmen, welche lineare Größe jeder Stellung der Platten für das gegebene Instrument entspricht.

Die Prüfung des Ophthalmometers.

§ 31. Diese kann auf verschiedene Art vorgenommen werden: Entweder misst man die in Formel (1) enthaltenen konstanten Größen: h, die Dicke der Platten, und das Verhältnis von $\sin\alpha$ zu $\sin\beta$, d. h. den Brechungsexponenten n des Glases, aus dem sie bestehen. Ersteres kann mit Hilfe eines Mikrometers, oder mit einem schon bekannten anderen Ophthalmometer geschehen; letzteres mit Hilfe eines aus demselben Glase verfertigten Prismas.

Man kann aber die Messung der beiden Größen auch umgehen, wenn man nämlich für E einen bestimmten Wert annimmt. Verdoppelt man durch Drehung der Ophthalmometerplatten z. B. eine Maßstabeinteilung, so kann man den dazu nötigen Drehungswinkel am Instrumente ablesen, und, wenn man nur h gemessen hat, den zum Einfallswinkel gehörigen Brechungswinkel β, also auch n berechnen.

Oder aber, wenn man weder h noch n kennt, so kann man sich zur Berechnung dieser zwei Unbekannten dadurch zwei Gleichungen verschaffen, dass man zwei verschiedene Messungen der eben beschriebenen Art vornimmt, d. h. man sucht den Drehungswinkel für zwei verschiedene, bekannte Größen E' und E''. Dann hat man:

$$E' = 2h \frac{\sin(\alpha' - \beta')}{\cos\beta'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$E'' = 2h \frac{\sin(\alpha'' - \beta'')}{\cos\beta''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

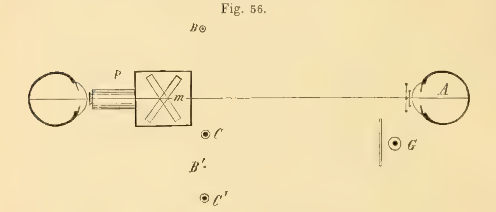
Durch Division der zweiten in die erste Gleichung wird $2h$ eliminiert, und man behält als Unbekannte nur noch β' und β'', deren Sinus gleich sind $\frac{\sin\alpha'}{n}$ und $\sin\frac{\alpha''}{n}$, während man ihre Cosinus durch ihre Sinus, also ebenfalls durch α' und α'' ausdrücken kann.

Auf diese Weise findet man n und damit auch h durch Einführung der gefundenen Werte in eine der beiden Gleichungen (47).

Einfacher und doch sicherer ist es, das Ophthalmometer empirisch zu bestimmen, ohne weder die Dicke der Platten, noch deren Brechungsexponenten zu messen. Zu diesem Zwecke benutzt man eine äußerst genaue Skale, welche wenigstens noch in Zehntelmillimeter eingeteilt ist, betrachtet sie durch das Ophthalmometer, und dreht die Platten so lange, bis der zweite Teilstrich des einen Doppelbildes, dann der dritte, dann der vierte u. s. w. auf den ersten des anderen Doppelbildes fällt, d. h. man stellt die Platten erst für ein Objekt von 0,1, dann von 0,2, von 0,3 u. s. w. mm ein. Zu gleicher Zeit liest man am Nonius ab, welcher Drehungswinkel diesen Größen entspricht.

Legt man sich von diesen Werten eine Tabelle an, so kann man, bei allen späteren Messungen unbekannter Objekte, deren Größe einfach nach dem gefundenen Drehungswinkel ablesen, ohne erst die ganze Berechnung

Fig. 56.



(Formel 1) ausführen zu müssen. Allerdings gelten dann die Maße nur für den, oder die Quadranten, welche man auf solche Weise bestimmt hat, und man muss deshalb alle Messungen in demselben Quadranten vornehmen, oder alle vier Quadranten empirisch bestimmen. Eine solche Tabelle vereinfacht die Untersuchung außerordentlich.

Sind die Messungen so genau als möglich und in sehr großer Anzahl ausgeführt, so ist letztere Methode wohl die empfehlenswerteste und verdient umsomehr Berücksichtigung, als, trotz der genauesten Kenntnis von Dicke und Brechungsindex der Platten, die Messungen doch unrichtig werden können, wenn die Konstruktion des Instrumentes nicht mathematisch genau ist.

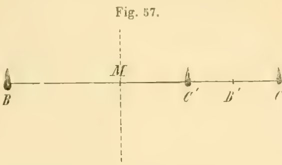
Das Ophthalmometer wird, wie gesagt, einmal benutzt zur Messung der Reflexbilder der Hornhaut, der vorderen und der hinteren Linsenfläche. Aus deren Größe lässt sich dann der entsprechende Krümmungshalbmesser berechnen.

Das zu untersuchende Auge *A* (Fig. 56) wird zu diesem Zwecke, mit Hilfe eines Kopfhalters, in einer gewissen Entfernung dem Instrumente gegenüber aufgestellt und durch ein Fixierobjekt so gerichtet, dass das

Reflexbild eines bekannten Objektes gerade von dem Teile in das Ophthalmometer geworfen wird, dessen Krümmung man bestimmen will.

Als Objekt benutzt man am besten drei in nebenstehender Weise gruppierte Lichter $BC'C$ (Fig. 57), die senkrecht zur Achse des Ophthalmometers aufgestellt werden.

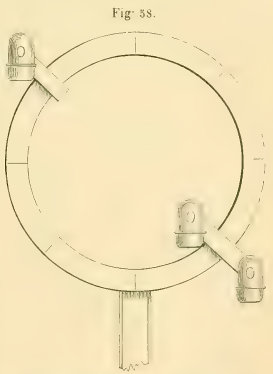
Fig. 57.



M ist der Mittelpunkt zwischen Licht B und der Mitte B' der beiden anderen Lichter C und C'. Diese Lichter werden von der zu messenden Oberfläche reflektiert, und ihr Bild durch das Ophthalmometer betrachtet.

Man dreht dann die Platten so lange, bis das eine Doppelbild von B genau in die Mitte zwischen C und C' zu stehen kommt. BB' ist also die Größe des Objektes, dessen Bild man misst [1]).

Fig. 58.



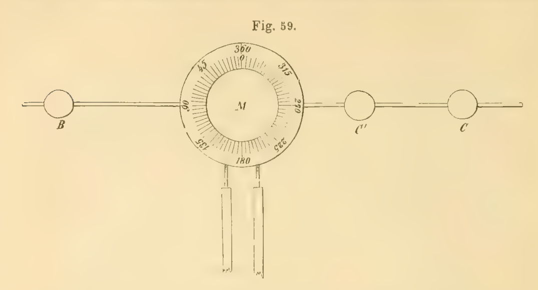
Middelburg (33) bediente sich dreier, an einem vertikalen Ringe befestigter, und um dessen Centrum drehbarer Öllämpchen (Fig. 58), die heutzutage selbstredend durch elektrische Lichter ersetzt werden. v. Helmholtz benutzte drei an einer Stange verschieb- und drehbare Spiegel, welche das Licht einer in der Höhe des untersuchten Auges brennenden Flamme auf dasselbe reflektierten.

Die Spiegel ordnete er so an, wie Fig. 59 zeigt. Die Distanzen MB und MB', der Mitte zwischen C und C', müssen genau gleichgroß und bekannt sein. Damit man die Spiegel nicht jedesmal neu einzustellen braucht, kann man die Stellung des Lichtes zu ihnen durch eine einfache Einrichtung in allen Stellungen konstant erhalten. Man hat dazu die drei Planspiegelchen, samt der Stange, so aufzustellen, dass jedes für sich immer eine Tangentialebene bildet zu

1) Es ist nämlich erfahrungsgemäß leichter zu beurteilen, wann ein Punkt in der Mitte zwischen zwei nahegelegenen Punkten steht, als wann er sich mit einem anderen Punkte deckt.

einer gedachten Kugelebene, deren Centrum gerade in der Mitte zwischen Licht und untersuchtem Auge liegt. Zur richtigen Einstellung ist jedes der

Fig. 59.



drei Spiegelchen mittelst dreier Schrauben um zwei Achsen drehbar. Die Stange dreht sich um einen Hohlcylinder, durch welchen man mit dem Ophthalmometer hindurchsieht.

Die Krümmung der Hornhaut.

§ 32. Die Hornhaut ist von allen brechenden Flächen des Auges dem Studium ihrer Form weitaus am leichtesten zugänglich: Sie trennt Luft von Humor aqueus, zwei Medien, deren Brechungsindices voneinander viel verschiedener sind als die irgend welcher aneinander grenzenden Medien des Auges. Dadurch wird einmal die spiegelnde (wie die brechende) Kraft der Hornhaut bedeutender, und werden ihre Reflexbilder lichtstärker, als die jeder anderen brechenden Flächen des Auges. Noch viel wichtiger aber ist der Umstand, dass die Hornhautbilder, weil durch Luft betrachtet, so, wie sie dem Beobachter erscheinen, auch zur Berechnung der entsprechenden Krümmung verwendet werden können, während die Bilder der Linsenflächen, weil von den davorliegenden brechenden Medien beeinflusst, erst auf ihre wirkliche Größe reduziert werden müssen. Diese Berechnung aber setzt die genaue Kenntnis dieser Teile des dioptrischen Apparates des Auges voraus.

Seitdem vollends Helmholtz das Prinzip der Bestimmung der Hornhautkrümmung angegeben hat, ist dieselbe äußerst einfach geworden. Es fehlt denn auch nicht an Instrumenten, welche selbst der täglichen Praxis diese Messungen zugänglich machen, und ist die Form der Hornhautoberfläche auch sehr eingehend studiert worden. Wir werden diesen Instrumenten einen besonderen Paragraphen widmen, und uns hier auf die mit

HELMHOLTZ's Ophthalmometer gemachten Untersuchungen, und die Beschreibung einiger Instrumente beschränken, welche sich in ähnlicher Weise verwenden lassen.

Der Krümmungsradius der Hornhaut.

Zur Bestimmung des Krümmungsradius der Hornhaut bringt man vorerst die drei Lichter in den zu messenden Meridian. Darauf stellt man das Fernrohr des Ophthalmometers so ein, dass man die von der Hornhaut gelieferten Reflexe derselben deutlich sieht, und dreht nun in oben angegebener Weise die Platten bis zur Verdoppelung des Lichterabstandes. Um möglichst genaue Resultate zu erhalten, muss man mehrmals hintereinander die Platten im gleichen Quadranten einstellen und die gefundenen Größen notieren, oder die Platten durch fortgesetztes Drehen in alle vier Quadranten bringen, bis sie eine volle Umdrehung gemacht haben, und aus allen vier Stellungen das Mittel ziehen.

Ist die Größe des Objektes, also die Entfernung BB' (Fig. 57) $= b$, die Entfernung desselben von der Hornhaut $= a$, die Größe des Spiegelbildchens $= \beta$, so ist der Radius r der Krümmung, auf welcher man die Reflexe gemessen hat:

$$r = \frac{2 a \beta}{b}.$$

Benutzt man, wie gewöhnlich, zu den Bestimmungen von Krümmungen immer dieselbe Objektgröße, d. h. den gleichen Lichterabstand, so kann man ein für allemal die Berechnungen des Radius für alle möglichen Bildgrößen ausführen, und davon eine Tabelle anlegen, ähnlich derjenigen für die zu den verschiedenen Drehungsgraden gehörigen linearen Größen, und die beiden kombinieren. Man braucht dann jeweilen nur die Drehungswinkel der Platten am Ophthalmometer abzulesen, um in der Tabelle gleich den zugehörigen Krümmungsradius zu finden.

Misst man den Krümmungsradius in verschiedenen Teilen eines Meridians, so findet man ihn an der Stelle, durch welche die Gesichtslinie geht, kleiner, als in gleichen Abständen seitlich davon, doch auch in letzteren beiden unter sich nicht gleichgroß (vgl. Fig. 63). Es folgt daraus, dass der Durchschnitt der Hornhaut nicht kreisförmig ist, und dass die Gesichtslinie nicht durch den Scheitel der Hornhaut geht, sondern mit ihr einen Winkel bildet.

Diesen von Hornhautachse und Gesichtslinie gebildeten Winkel pflegt man mit α zu bezeichnen.

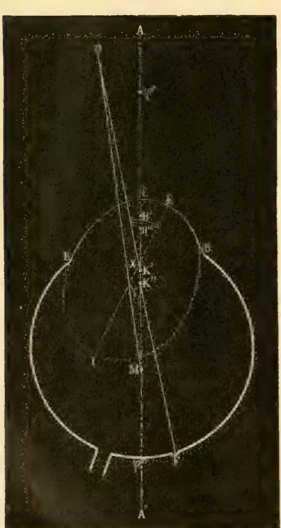
Seien, in Fig. 60: AA die optische Hauptachse des Auges,
φ' der vordere, φ'' der hintere Brennpunkt,
H' und H'' die Hauptpunkte,
K' und K'' die Knotenpunkte,

M der Drehpunkt,
C der Mittelpunkt der Hornhautkrümmung,
BB die Basis der Hornhaut,
EL die größere Achse des Hornhautelliptoides,
F die Fossa centralis,
O der Fixierpunkt,
K'O die Gesichtslinie,
MO die Blicklinie,

so ist *OXE* der Winkel Alpha, d. h. der Winkel, den die Gesichtslinie mit der Hornhautachse bildet,
OMA der Winkel Gamma, d. h. der Winkel zwischen der Blicklinie und der optischen Achse des Auges (73).

Die Bestimmung des Winkels Alpha.

Fig. 60.



§ 33. Ausgehend von der Annahme, der Scheitel der Hornhaut falle mit ihrem Mittelpunkte zusammen, bediente sich Donders zur Bestimmung des Winkels Alpha folgender Methode: Er brachte über dem Ophthalmometer eine Flamme an, und betrachtete deren Reflex auf der Hornhaut des zu untersuchenden Auges. Die Richtung des letzteren wird bestimmt durch ein Fixierzeichen, welches sich einem vom Drehpunkte dieses Auges aus beschriebenen Bogen entlang bewegen lässt.

Nun sucht man, durch Verschiebung des Fixierzeichens, die Richtung des Auges auf, bei welcher die Reflexbilder gerade auf entgegengesetzte Ränder der Hornhaut fallen, wenn letztere, durch Drehung der Ophthalmometerplatten, um ihre halbe Breite verschoben erscheint (Fig. 61).

Dies ist nur dann möglich, wenn der Reflex in der Mitte der Hornhaut entsteht.

Fig. 61.

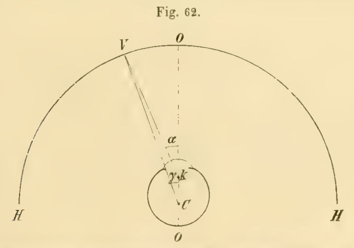
Die Lage des Fixierobjektes giebt dann den Grad der Abweichung zwischen der **Blicklinie** (Verbindungslinie von Fixierpunkt und Drehpunkt) und der Hornhautachse an, d. h. den Winkel VCO oder γ (Fig. 62).

Da man kennt: VC als Radius des Bogens, in dessen Centrum der Drehpunkt C liegt, ferner die Entfernung zwischen Knotenpunkt und Drehpunkt: $KC = 6{,}5$ mm bei Emmetropie (Donders), so kann man aus $\angle\gamma$ auch $\angle\alpha$, den Winkel zwischen Gesichtslinie KV, und Hornhautachse KO berechnen. Bezeichnet man den Radius VC mit r, und die Strecke KC mit d, so ist:

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{r \cdot \sin\lambda \cdot \operatorname{tang}\gamma}{r \cdot \sin\gamma - d \cdot \operatorname{tang}\gamma}.$$

Führt man diese Rechnung für einen bestimmten Fall aus, und setzt den Radius r des Bogens $= 270$ mm; die Entfernung d, zwischen Knoten-

Fig. 62.



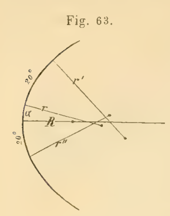
HOH Bogen, in dessen Centrum sich das Auge befindet, und auf welchem das Fixierobjekt V läuft; K Knotenpunkt; C Drehpunkt des Auges; OO Ophthalmometerachse, mit welcher die Hornhautachse zusammenfällt; KV Gesichtslinie, also $\angle VKO = \angle\alpha$; CV Blicklinie, also $\angle VCO = \angle\gamma$.

punkt und Drehpunkt, $= 6{,}5$ mm; den gefundenen Winkel VCO oder $\gamma = 5^\circ$, so ergiebt sich für den Winkel $\alpha = 5^\circ 7' 20''$. Der Unterschied ist also ungemein gering. Für kleinere Werte des Winkels α, wie sie gewöhnlich vorkommen, wird er selbstverständlich noch geringer. Außerdem nimmt der Unterschied zwischen den Winkeln α und γ ab mit der Zunahme der Entfernung CV des Fixierpunktes vom Auge, d. h. des Radius des Bogens *HOH*.

Woinow (58) machte darauf aufmerksam, dass die Hornhautachse nicht genau durch die Mitte der Hornhautbasis gehe, und ferner, dass der

Knotenpunkt keine konstante Lage habe, also auch der Wert KC ein veränderlicher sei. Er berechnete deshalb den Winkel α auf andere Weise.

Fig. 63.

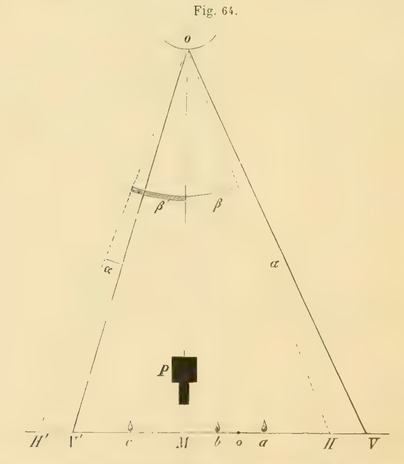


Erst bestimmte er (Fig. 63) den Radius r der Hornhaut in der Gesichtslinie, welch letztere er mit der Ophthalmometerachse zusammenfallen ließ. Dann bestimmte er, in gleicher Entfernung davon, die Radien r' und r'', doch in der Weise, dass er das Ophthalmometer um das Auge drehte, während letzteres seine Lage unverändert beibehielt. Den Winkel, welchen r' und r'' mit r einschlossen, nannte er φ, und wählte ihn $= 20°$. Dann erhielt er die Formel:

$$\operatorname{tang} 2\alpha = \operatorname{tang}\varphi \cdot \frac{(r' r'')^{\frac{2}{3}} - (r' r)^{\frac{2}{3}}}{(r r')^{\frac{2}{3}} + (r r'')^{\frac{2}{3}} - 2\,(r' r'')^{\frac{2}{3}}}.$$

Dr. Mandelstamm (36) suchte, nach v. Helmholtz's Vorschlag, die Bestimmung des Winkels α in folgender Weise vorzunehmen: Es sei in Fig. 64

Fig. 64.



P das Ophthalmometer; in c das eine, in a und b die beiden anderen Lichter, deren Mitte o gleichweit von M entfernt ist, wie c.

Nun ließ er das Auge O ein Objekt V fixieren, so dass OV die Gesichtslinie, OH die Hornhautachse darstellt. VOH ist also der Winkel α. Dann brachte er, durch Drehung der Ophthalmometerplatten, im Reflexbilde der Hornhaut, das Bild von e in den Punkt o. In dieser Stellung wurden die Platten belassen, während das Fixierobjekt so weit nach der anderen Seite, nach V' geführt wurde, bis die Anordnung der Doppelbilder auf der Hornhaut gerade wieder dieselbe war. Jetzt war also OV' die Gesichtslinie, OH' die Hornhautachse, $V'OH' = \angle \alpha$.

Aus der Stellung der Reflexbilder folgt, dass die Teile der Hornhaut, welche, bei nach V und bei nach V' gerichteter Gesichtslinie, in der Ophthalmometerachse stehen, gleiche Krümmung haben; also müssen sie auch gleichweit von der Hornhautachse entfernt sein, und muss der Winkel β resp. β', welchen letztere mit der Ophthalmometerachse einschließt, in beiden Stellungen, OH und OH', derselbe sein. Also:

$$\beta' = \beta$$

$$\alpha + \beta' = \alpha + \beta$$

ferner

$$\beta' = V'OM + \alpha \text{ (vgl. Fig. 64)}$$

beiderseits $+ \alpha$ addiert giebt

$$\beta' + \alpha = V'OM + 2\alpha$$

$$\beta + \alpha = VOM \text{ (vgl. Fig. 64)}$$

also

$$2\alpha + V'OM = VOM$$

$$\alpha = \frac{VOM - V'OM}{2},$$

d. h. der Winkel α ist gleich dem halben Winkel zwischen Gesichtslinie und Ophthalmometerachse, in der ersten und der zweiten Stellung.

Diese Winkel aber ergeben sich aus den Formeln tang $V'OM = \frac{V'M}{MO}$ und tang $MOV = \frac{MV}{MO}$, wie aus der Figur direkt ersichtlich ist. Die in den Formeln enthaltenen linearen Größen sind durch Messung bekannt.

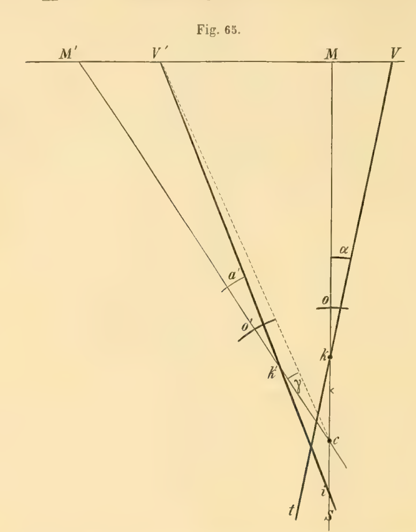
Mauthner (66) weist auch dieser Methode ihre Fehler nach. Ist nämlich (Fig. 65) SM die Achse, tV die Gesichtslinie, k der Knotenpunkt, c der Drehpunkt, VkM also $= \angle \alpha$, O der Hornhautscheitel, und bewegt das Auge seine Gesichtslinie von V nach V', dann geschieht diese Bewegung um den Drehpunkt c, welcher allein fest bleibt, während alle anderen Punkte, namentlich auch k, ihren Ort im Raume wechseln. k rückt also nach k'; $ik'V'$ stellt jetzt die Gesichtslinie und $ck'M'$ die Hornhautachse dar, und beide schneiden die Ophthalmometerachse in verschiedenen Punkten: c und i.

Es ist also ungenau, in voriger Berechnung (Fig. 64) die vier Punkte O, k, c, i, als Scheitelpunkt des Winkels α, zu einem einzigen Punkte

zusammenfallen zu lassen. Dennoch zeigt es sich, dass die Berechnung unter gewissen Umständen richtig sein kann:

Es ist nämlich in Fig. 65 $\angle McM' = \angle cik' + \angle ck'i$, als Außenwinkel des $\triangle ick'$. $\angle McM'$ entspricht aber in der Fig. 64 dem $\angle \beta'$

Fig. 65.



d. h. dem Winkel zwischen Hornhaut- und Ophthalmometerachse; $\angle cik'$ ist gleich dem Winkel zwischen Gesichtslinie und Ophthalmometerachse $= \angle \beta' - \angle \alpha$ in Fig. 64, also

$$\beta' = \alpha + cik'.$$

Allein dazu ist es notwendig, dass $\angle cik'$ (resp. $\angle MiV'$), d. h. der Winkel zwischen Gesichtslinie und Ophthalmometerachse, schon gegeben sei.

Wie oben gezeigt, ist die Tangente des dem Winkel MiV' entsprechenden Winkels $V'OM$ der Fig. 64

$$\text{tang}\, V'OM = \frac{V'M}{MO}.$$

MO muss aber, wie aus Fig. 65 hervorgeht, nicht die Entfernung von M bis zur Hornhaut, sondern bis zum Punkte i bezeichnen, wo sich Gesichtslinie und Ophthalmometerachse schneiden. Diesen Punkt aber findet man erst, wenn Drehpunkt (c), Knotenpunkt (k) und $\sphericalangle \alpha$ gegeben sind.

Nimmt man aber, statt des unbekannten Mi, die Länge Mc bis zum Drehpunkte, dann ist $\frac{V'M}{Mc} = \operatorname{tang} McV'$, des Winkels zwischen Blicklinie und Ophthalmometerachse, statt desjenigen zwischen Gesichtslinie und Ophthalmometerachse. Durch Subtraktion dieses Winkels von dem Winkel McM', erhält man $\sphericalangle V'cM'$, den Winkel zwischen Blicklinie und Hornhautachse $= \sphericalangle \gamma$, statt $\sphericalangle V'k'M'$ zwischen Gesichtslinie $V'k'$ und Hornhautachse $M'k' = \sphericalangle \alpha$, also wieder dasselbe wie in § 33. Die Differenz zwischen beiden Winkeln ist aber, wie oben gezeigt, sehr unbedeutend.

Von der Stellung des Auges, bei welcher der Scheitelpunkt der Hornhautkrümmung in der Ophthalmometerachse liegt, geht man aus, wenn man Messungen in verschiedenen Meridianen derselben vornehmen will.

Zu diesem Zwecke hatten Donders und Middelburg einen Ring konstruiert (Fig. 58), der, zwischen untersuchtem Auge und Ophthalmometer, senkrecht stand zu der Achse des letzteren, die durch sein Centrum ging. An dem Ringe ließen sich drei in schon öfters angegebener Weise aufgehängte Lampen so verschieben, dass sie alle Durchmesser des Ringes, ihre Reflexbilder also alle Meridiane der Hornhaut durchliefen. Einfacher ist es, die Stange, welche die Spiegel trägt (Fig. 59), um die Ophthalmometerachse zu drehen, und noch viel einfacher, die Spiegel durch elektrische Lichter zu ersetzen. Selbstverständlich muss die Trennungslinie der Ophthalmometerplatten immer mit der die drei Objekte verbindenden Linie in derselben Ebene liegen.

Der Durchmesser der Hornhautbasis.

§ 34. Bringt man, nach der in § 33 beschriebenen Art, den Scheitel der Hornhaut in die Ophthalmometerachse, so giebt die Drehung der Platten bis zu dem Grade, wo die verdoppelten Reflexbilder des Lichtes mit den entgegengesetzten Rändern der Hornhaut zusammenfallen (Fig. 61), gerade die Hälfte des Durchmessers der Hornhautbasis an (Donders).

Die Hornhauthöhe.

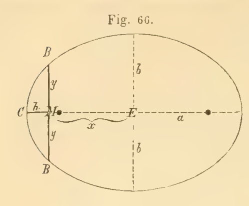
§ 35. Die Hornhauthöhe entspricht annähernd einer Senkrechten, welche vom Hornhautscheitel zur Mitte der Hornhautbasis geht.

Ist in Fig. 66 BB die Hornhautbasis $= 2y$, M deren Mittelpunkt, C der Hornhautscheitel, so ist $CM = h$ die Hornhauthöhe.

Es sei außerdem a der große, b der kleine Radius der Ellipse, von welcher die Hornhaut einen Abschnitt darstellt.

h wird berechnet mit Hilfe des Koordinatensystems, welches im Durchschnitte E beider Ellipsenachsen seinen Ausgangspunkt hat. Die dem Halbmesser der Hornhautbasis entsprechende Ordinate ist x, ihre Abscisse y, und x wird nach der Koordinatengleichung für die Ellipse:

Fig. 66.



$$x = \pm \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2},$$

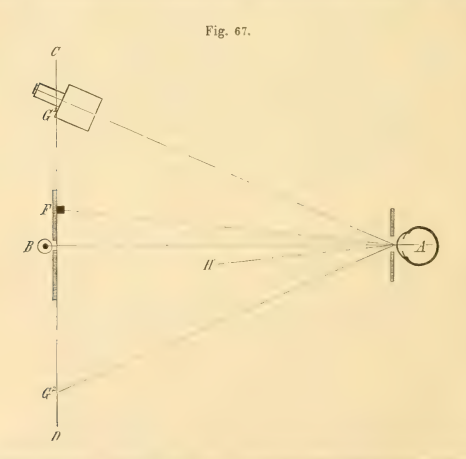
worin a und b aus den Berechnungen der Hornhautkrümmung, y aus der Messung der Basis bekannt sind.

h ist dann $= a - x$.

Die Tiefe der vorderen Kammer.

§ 36. Die Tiefe der vorderen Kammer ist gleich der Entfernung des Scheitels der vorderen Linsenfläche von dem Hornhautscheitel. Da aber

Fig. 67.



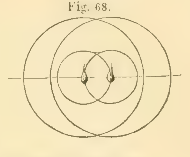
die Iris der Linse aufliegt, kann man ohne erheblichen Fehler den Abstand zwischen Pupillarebene und Hornhautscheitel der Tiefe der vorderen Kammer gleichsetzen.

Als Maß benutzt Helmholtz die Entfernung des scheinbaren Ortes der Reflexbilder der Hornhaut vom Pupillarrande der Iris.

Dieser Ort liegt, für sehr weit entfernte Objekte, ungefähr in der Mitte des Hornhautradius. Die Iris aber erscheint, wegen der Brechung in der Hornhaut, etwas vergrößert und nach vorn gerückt. Deshalb muss man, mit Hilfe der bekannten Hornhautkrümmung, aus der scheinbaren Lage der Iris, erst die wirkliche berechnen, und damit die Lage des Cornealbildchens vergleichen.

Helmholtz führt dieses auf folgende Art aus: In A (Fig. 67) steht das beobachtete Auge; ungefähr zwei Meter von ihm entfernt, in CD, eine horizontale Skale; in B, dem Fußpunkte des von A auf CD gefällten Lotes, eine Flamme. Ihr Licht fällt durch die Öffnung eines Schirmes, und wird von der Hornhaut gespiegelt. In F befindet sich ein verschiebbares Fixierzeichen. In G^1 und G^2, gleichweit von B entfernt, stellt man nacheinander das Ophthalmometer auf.

Fig. 68.



Nun beobachtet man von G^1 aus den Hornhautreflex der Flamme B, und verdoppelt ihn durch Drehung der Ophthalmometerplatten. Zu gleicher Zeit verdoppelt sich auch das Bild der Pupille. Hat man dasselbe um die halbe Pupillenbreite verschoben, so kann man das Auge A, mittelst des Visierzeichens F, so richten, dass die verdoppelten Flammenbilder gerade mit den Rändern der verdoppelten Pupille zusammenfallen (Fig. 68).

Dasselbe thut man von G^2 aus. Im ersten Falle steht dann also das Hornhautbildchen über der Mitte der Pupille in der Linie G^1A, im zweiten Falle in der Linie G^2A, und wo sich die beiden Linien schneiden, da ist der Ort der vorderen Linsenfläche.

Aus den gemessenen Größen, dem früher gefundenen FAH (α) zwischen Gesichtslinie und Hornhautachse AH, und dem ebenfalls früher gefundenen Radius der Hornhaut, kann man diesen Punkt durch Konstruktion, oder auch durch Berechnung finden (19a).

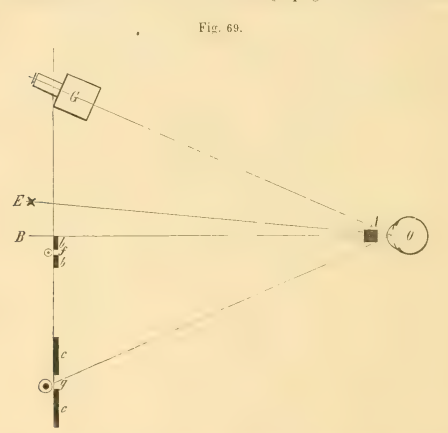
Einfacher lässt sich die Tiefe der vorderen Kammer, nach Donders, mit Hilfe eines Mikroskopes bestimmen. Die Hornhautoberfläche wird durch einige aufgestreute Kalomelpartikelchen bezeichnet. Das Mikroskop wird erst auf diese, dann auf den Pupillarrand eingestellt. Die dazu erforderte Verschiebung des Okulares entspricht wenigstens ungefähr der Tiefe der vorderen Kammer. Die Fehlerquellen dieser Methode liegen offenbar darin, dass das Kalomel nicht immer genau den Hornhautscheitel treffen mag, und dass dem Einflusse des Meniskus der Vorderkammer auf den scheinbaren Ort der Iris nicht Rechnung getragen wird.

F. Hegg hat vor kurzem, zur Messung der Tiefe der vorderen Kammer, eine neue, originelle Methode angegeben. Sie beruht auf der Bestimmung der absoluten und relativen Entfernung zweier Punkte und ihrer Querdisparation. Eine verständliche Auseinandersetzung dieser Methode, sowie die Beschreibung des dazu dienlichen Instrumentariums, würde uns hier jedoch zu weit führen. Wir müssen uns damit begnügen, den Leser auf die Originalarbeit (85) zu verweisen.

Der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche.

§ 37. Den Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche lehrte Helmholtz ebenfalls mit den von dieser Fläche gespiegelten Bildern erkennen.

Fig. 69.



Man betrachtet hierzu die vordere Kammer, samt der Hornhaut, als ein konkav-konvexes, dioptrisch-katoptrisches System, dessen Brechungsindex gleich ist dem des Humor aqueus; dessen Vorderfläche die Hornhaut, dessen Durchmesser die Tiefe der vorderen Kammer, und dessen hintere Fläche die vordere Linsenfläche bildet.

Von diesen vier Größen sind die drei ersten bekannt, die letzte gesucht. Man kann sie finden dadurch, dass man das von der Hornhaut reflektierte Bild gleichgroß macht, wie das von der vorderen Linsenfläche reflektierte, und so, aus der messbaren Größe der Bilder, und dem bekannten Radius

der Hornhautkrümmung, auf den Radius der vorderen Linsenfläche schließt. Da aber die Lichtstrahlen, ehe sie auf diese Fläche treffen, und ehe sie, von ihr zurückgeworfen, in das Auge des Beobachters gelangen, das System der vorderen Kammer passieren, muss man erst den Gang dieser Strahlen berechnen, ehe man aus der Größe des Linsenbildchens Schlüsse auf die Krümmung ihrer Vorderfläche ziehen kann.

Helmholtz geht, zur Bestimmung des Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche, in der durch Fig. 69 angedeuteten Weise vor. In O befindet sich das untersuchte Auge. bb und cc sind Schirme mit je einer, von mattem Glase bedeckten Öffnung in f und g. f ist kleiner, und wird durch ein mäßiges Licht erleuchtet; hinter der großen Öffnung g dagegen, brennt eine starke Lampenflamme. Das von diesen Öffnungen kommende Licht fällt einerseits direkt auf das Auge O, andererseits wird es durch ein vor demselben befindliches horizontales Spiegelchen A auf dasselbe reflektiert, so dass also O zwei Bilder von jeder Öffnung sieht, und seine reflektierenden Flächen auch je zwei reflektieren.

Die Öffnung f und der von A entworfene Reflex f' bilden das Objekt für die Hornhautspiegelung, g und ihr Reflex g' das Objekt für die Linsenspiegelung. Der Beobachter sieht von G aus mit bloßem Auge, oder durch ein schwach vergrößerndes Fernrohr, nach A hin.

Nun wird das untersuchte Auge durch ein Fixierzeichen E so gestellt, dass die Linsenreflexe in der Mitte der Pupille erscheinen, und das Hornhautbild der kleinen Lichter dicht daneben. Dann wird der Schirm b so lange gehoben und gesenkt, bis der Abstand der kleinen gespiegelten Lichter voneinander ebenso groß ist, wie der der Mitte der größeren voneinander. Die scheinbare Entfernung zwischen g und seinem Spiegelbilde g' kann man auf einem, am Schirme c befestigten Maßstabe ablesen. Dies ist die Größe des Objektes gg'. Auf gleiche Weise misst man ff'. Ihre Spiegelbilder sind einander gleich.

Da nun die Bilder, welche spiegelnde Flächen von weit entfernten Objekten entwerfen, sich direkt verhalten wie die Brennweiten derselben, so müssen sich die Brennweiten von Flächen, welche von ungleich großen, aber gleichweit entfernten Objekten, gleichgroße Bilder entwerfen, umgekehrt verhalten wie die Objekte.

Die Brennweite der Hornhaut ist gleich der Hälfte ihres Radius R, also $= \frac{R}{2}$.

Bezeichnet man die Brennweite der vorderen Linsenfläche mit q, so verhält sich also:

$$q : \frac{R}{2} = ff' : gg'.$$

also ist:

$$q = \frac{R \cdot ff'}{2\,gg'}.$$

Aus q lässt sich nun auch der Radius r der vorderen Linsenfläche berechnen; und zwar, nach Helmholtz, auf folgende Weise:

Vor der spiegelnden Fläche, deren Radius $= r$ (Radien konkaver Flächen positiv, konvexer negativ genommen), stehe ein System brechender Kugelflächen, deren erste Brennweite in Luft f', die zweite, im letzten brechenden Medium, f'' ist. Den Abstand der spiegelnden Fläche vom zweiten Hauptpunkte des brechenden Systems nennen wir d; dann ist

$$q = \frac{f' \cdot f'' \cdot r}{2\,(f'' - d)\,(f'' - d + r)}$$

und daraus wird

$$r = \frac{q\,(f'' - d)^2}{\frac{1}{2} f' \cdot f'' - q\,(f'' - d)}$$

Der Ort der hinteren Linsenfläche.

§ 38. Die hintere Linsenfläche ist selbst unsichtbar und von keinen sichtbaren Teilen umgeben. Es ist darum die Bestimmung ihres Ortes noch schwieriger, als die des Ortes der vorderen Linsenfläche, welche durch den Pupillarrand bezeichnet wird. Den Ort der hinteren Linsenfläche muss man aus dem von derselben reflektierten Bilde zu bestimmen suchen.

Ist nun für einen Beobachter, der nacheinander von zwei verschiedenen Richtungen in das Auge sieht, beide Male derselbe Punkt der hinteren Linsenfläche durch einen Lichtreflex bezeichnet, dann kann man dessen Lage, von zwei verschiedenen Richtungen her, gegen einen Hornhautreflex von bekannter Lage bestimmen, und dadurch den scheinbaren Ort der hinteren Linsenfläche finden.

Dies erreicht man auf folgende Weise: Hat man von der hinteren Fläche der Linse einen Lichtreflex erzeugt, so bringt man sein Auge an die Stelle des Lichtes, und das Licht an die Stelle des Auges. Dann muss also der Reflex in der ersten und in der zweiten Stellung genau an demselben Orte entstanden sein. Diesen Ort aber bestimmt man dadurch, dass man in beiden Stellungen den Linsenreflex mit einem Hornhautbildchen deckt. Dann befindet sich der Ort der Linsenfläche im Durchschnittspunkte der Gesichtslinien des Beobachters, die beide durch die Hornhautreflexe gehen. Die Lage der letzteren aber lässt sich nach der früher beschriebenen Methode finden.

Fig. 70.

G^2 B F E G^1

Man stellt also vor dem untersuchten Auge wieder eine Skale auf, deren Anordnung in Fig. 70 angedeutet ist.

G^2 und G^1 sind gleichweit entfernt von B. In G^2 befindet sich, bei der ersten Untersuchung, ein Schirm mit großer Öffnung, welcher durch

ein starkes Licht erhellt wird, in G^1 ein Fernrohr. G^2 erzeugt den Linsenreflex, während in E ein Schirm mit kleinerer Öffnung steht, als Objekt für das Hornhautbildchen. Der Schirm E ist verschiebbar, und seine Öffnung von blauem Glase bedeckt.

Das untersuchte Auge wird durch das Fixierzeichen F so gestellt, dass seine Hornhautachse nach B gerichtet ist, also senkrecht steht auf $G^1 G^2$. Durch G^1 sieht man also den Reflex von G^2. Dann verschiebt man E so lange, bis das von ihm erzeugte Hornhautbildchen diesen Reflex deckt, und merkt sich die Entfernung BE.

Hierauf werden Lampe G^2 und Fernrohr G^1 vertauscht, und man sucht wiederum die entsprechende Stellung von E auf der anderen Seite auf.

Die Orte der Hornhautbilder, sowie den Durchschnittspunkt der Gesichtslinien, bestimmt man wie bei der Untersuchung der vorderen Linsenfläche.

Für den Ort des hinteren Linsenreflexes hat man nicht nur, wie früher, den Gang der Lichtstrahlen durch die vordere Kammer, sondern auch den durch die Linse zu berücksichtigen. Die Brechung der Linse hat aber deswegen wenig Einfluss auf die scheinbare Lage dieses Reflexes, weil derselbe ihrem hinteren Knotenpunkte sehr nahe liegt. Der Ort des hinteren Linsenreflexes liegt ungefähr 7 mm hinter dem Hornhautscheitel.

Kennt man die Entfernung der vorderen und die der hinteren Linsenfläche von der Hornhaut, so giebt die Differenz der beiden die Dicke der Linse.

Der Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche.

§ 39. Den Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche kann man nach zwei Methoden bestimmen. Entweder misst man die scheinbare Größe des Reflexbildes dieser Fläche, und berechnet seine wirkliche Größe mit Hilfe der Brennweite und des Brechungsindex des vor ihm liegenden dioptrischen Systems: Linse, vordere Kammer und Hornhaut. Das Verhältnis zwischen der wirklichen Bildgröße und der Größe des Objektes ergiebt dann den Radius der hinteren Linsenfläche. Oder man bedient sich derselben Methode, nach welcher — wie oben beschrieben — die Krümmung der vorderen Linsenfläche bestimmt wird, d. h. man vergleicht die Größe der von der Hinterfläche der Linse entworfenen Bilder mit der Größe der Hornhautbilder.

Es ergiebt sich dann für den Radius der hinteren Linsenfläche die Formel

$$r = \frac{q(f'' - d)^2}{\frac{1}{2} f' f'' - q(f' - d)},$$

worin wieder q die Brennweite der untersuchten spiegelnden Fläche mit dem vor ihr liegenden dioptrisch-katoptrischen Systeme bedeutet, f' und f'' die vordere und die hintere Brennweite des Systems: Hornhaut + Humor aqueus + Linse bezeichnen.

Da der Glaskörper ungefähr denselben Brechungskoefficienten hat, wie die vor der Linse liegenden Medien, so kann man für f' und f'' die Werte annehmen, welche dem gesamten dioptrischen Systeme des Auges entsprechen.

d ist der Abstand des hinteren Linsenscheitels vom zweiten Hauptpunkte des Auges.

Da aber $f''-d$, die Entfernung vom hinteren Brennpunkte bis zur hinteren Linsenfläche, einfach gefunden werden kann, indem man von der ersten Brennweite f'' den Abstand der hinteren Linsenfläche vom zweiten Knotenpunkte des Auges abzieht, so setzt man in die obige Formel statt $f''-d=p$, und erhält also

$$r=\frac{q\cdot p^2}{\frac{1}{2}f'\cdot f''-q\cdot p}.$$

Da es sich bei diesen Untersuchungen herausstellte, dass die Reflexe, welche die Linsenflächen von gewöhnlichen Flammen liefern, so lichtschwach sind, dass sie sich zu genauen Untersuchungen, namentlich bei Verdoppelung durch die Ophthalmometerplatten, nicht gut eignen, so versuchte man dazu Drummond'sches Licht. Aber auch dies war noch nicht hell genug. Deshalb empfahl Helmholtz Sonnenlicht, welches außerordentlich scharfe Bilder liefert.

Rosow (37) machte damit, unter Helmholtz's Anleitung, ähnliche Messungen, wie die in § 37 angegebenen; jedoch ersetzte er die Flamme g (Fig. 69) durch Sonnenlicht, welches, mit Hilfe eines Heliostaten, durch die Öffnung des Schirmes auf das Spiegelchen A reflektiert wurde. Dies stellt, mit seinem Spiegelbilde, wieder das Objekt für die Reflexion der Linse dar.

Dies Objekt wird am vorteilhaftesten so aufgestellt, dass die von ihm ausgehenden Strahlen, für die Messung der vorderen Linsenfläche, unter einem Winkel von 40—45°, für die der hinteren Linsenfläche, unter einem solchen von 10—15° auf das Spiegelchen A treffen. Dann stören die Hornhautreflexe nicht.

Statt das Sonnenlicht g durch einen Spiegel zu verdoppeln, hat Woinow ein Prisma angewandt (58a). Er setzte ein Prisma von 7—9° Ablenkung, die brechende Kante nach unten gerichtet, zwischen das beobachtete Auge und das vom Heliostaten reflektierte Sonnenlicht, und zwar so, dass ein Teil direkt, ein anderer durch das Prisma abgelenkt, auf dasselbe fiel. Die Entfernung dieser beiden Lichter gab wiederum das Objekt für die Linsenspiegelung, und konnte entweder aus dem Ablenkungswinkel des Prismas berechnet, oder, genauer, mit einer Skale gemessen werden.

Fig. 71.

Zur Messung der Größe des Linsenreflexbildes, benutzte Woinow das Ophthalmometer, mit vertikal gestellten Platten, und drehte letztere so lange, bis die Abstände zwischen den vier Reflexbildern gleichgroß waren (Fig. 71).

So erhielt er die halbe Bildgröße. Der weitere Gang der Berechnung war derselbe wie oben.

Seitdem das elektrische Licht so handlich geworden ist, wird man sich zu allen diesen Untersuchungen wohl nur noch dieses Lichtes bedienen.

Das Phakoidoskop.

§ 40. Noch bevor das Ophthalmometer bekannt war, maß Cramer die Reflexbilder der vorderen und der hinteren Linsenfläche, beim Sehen in die Ferne, und beim Sehen in die Nähe (18). Er entdeckte so das Wesen der Akkommodation: die Formveränderung der Linse. Cramer bediente sich dazu eines Instrumentes, das Donders später Phakoidoskop genannt hat.

In seiner ersten Form besteht dasselbe aus einem horizontalen, in Grade geteilten Quadranten von 10 cm Radius, welcher von einer, am Tischende festzuschraubenden Stange getragen wird. Auf dem Quadranten lassen sich um dessen Centrum drehen: ein 15 cm langes, inwendig mit Sammet ausgefüttertes Rohr, ein Mikroskop und, zwischen beiden, ein Stab, welcher ein Fixierobjekt trägt.

Das periphere Ende des Rohres wird abgeschlossen durch ein Diaphragma mit senkrechter Öffnung, vor welcher ein Lampenlicht brennt. Das andere Ende reicht beinahe bis zum Centrum des Quadranten, wo es schief abgeschnitten ist, so dass sich sein Rand vollkommen an ein über dem Centrum befindliches Auge anlegt. Das Auge sieht nämlich durch eine, in der Wand des Rohres angebrachte Spalte, nach dem Fixierobjekte.

Für die Beobachtung der Linsenbilder im ruhenden Zustande, wählt man, zur Fixation, ein weit entferntes Objekt, für die Beobachtung derselben bei der Akkommodation, ein auf der Stange aus- und einschiebbares Fadenkreuz. Dem Fixierobjekte giebt man am besten eine Richtung, welche mit der des Rohres, resp. des einfallenden Lichtes, 30° einschließt.

Das Mikroskop, mit welchem man die Linsenbilder beobachtet, ist ebenfalls 30° zur Gesichtslinie geneigt, und enthält, in seinem Okulare, eine zwischen zwei senkrechten Platten befindliche Spalte, welche man durch Schrauben weiter und enger machen kann, während sich ihr Durchmesser an einem Nonius ablesen lässt.

Ist das Auge, mittelst des Fixierzeichens, richtig eingestellt, so wird das einfallende Licht auf der Cornea, auf der vorderen, und auf der hinteren Linsenfläche, in der Richtung des Fernrohres reflektiert, doch, bei dem Einfallswinkel von 30°, so, dass die drei Bilder sich alle isoliert darstellen, ohne einander zu berühren. Mit Hilfe der im Fernrohre befindlichen Schieber, welche bis an die beiden Ränder eines Spiegelbildes vorgeschraubt werden, lässt sich die Größe derselben messen, und aus der Vergrößerung des Mikroskopes, welche gewöhnlich eine 15 bis 30malige ist, auf ihre wirkliche

Größe reduzieren. Letzteres ist übrigens nicht einmal nötig, wenn man nur die relative Veränderung der Größe der Linsenbilder, bei der Akkommodation kennen lernen will.

Cramer's, nach heutigen Begriffen sehr primitives Instrument, verdient deswegen der Vergessenheit entrissen zu werden, weil dieser geniale, sehr jung verstorbene Gelehrte damit das Wesen der Akkommodation entdeckte und demonstrierte.



Fig. 72.

In Fig. 72 A sind *a*, *b* und *c* die von der Hornhaut (*a*), der vorderen (*b*) und der hinteren (*c*) Linsenfläche entworfenen Reflexe einer Lichtflamme, und zwar bei ruhendem Auge.

Macht dies Auge eine Akkommodationsanstrengung, so stellen sich die Reflexe in der durch B angedeuteten Weise dar. D. h. der Hornhautreflex *a* ist unverändert geblieben; das Bild *b'* der vorderen Linsenfläche ist kleiner geworden, und hat sich dem der Hornhaut bedeutend genähert. Daraus geht hervor, dass die vordere Linsenfläche sich stärker gewölbt hat, und vorgerückt ist. Das Bild *c*, der hinteren Linsenfläche, hat seinen Ort nicht merklich verändert, ist aber ein wenig kleiner geworden. Es hat also auch die Krümmung dieser Linsenoberfläche etwas zugenommen.

Zur genauen Beobachtung dieser Erscheinungen, ist allerdings eine Flamme, mit ihrer unstäten Form und ihren unbestimmten Konturen, nicht sehr geeignet. Besser bedient man sich dazu zweier quadratischer, mit mattem Glase bedeckter, von hinten stark beleuchteter Ausschnitte in einem metallenen Diaphragma, deren Reflexbilder der ophthalmometrischen Messung leicht zugänglich sind. — Sie stellen sich in der durch Fig. 73 angedeuteten Weise dar. Die Buchstaben haben darin wieder dieselbe Bedeutung wie in Fig. 72.

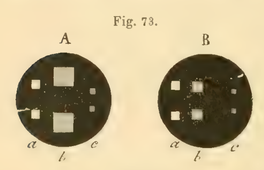


Fig. 73.

Donders verbesserte Cramer's Instrument etwas, indem er ihm eine bessere Stütze gab, und den Kopf des Untersuchten durch Stirnkissen feststellte. Dem Quadranten gab er einen Radius von 25 cm, und wählte ein stärkeres Mikroskop. Letzteres war unbeweglich, und von ihm ab gerechnet wurde das Fixierobjekt in 30°, die Lampe in ungefähr 60° aufgestellt.

Die Resultate der Messungen mit v. HELMHOLTZ's Ophthalmometer sowohl als mit dem, in jüngster Zeit von STADFELDT und TSCHERNING dazu verwendeten Ophthalmophakometer, sind zu finden in dem von Professor K. HESS bearbeiteten Kapitel XII Bd. VIII dieses Handbuches.

Bestimmung des Brechungsindex der brechenden Medien des Auges.

§ 41. v. HELMHOLTZ bediente sich dazu folgenden einfachen Verfahrens: Proben der zu untersuchenden Flüssigkeit wurden zwischen die konkave Fläche einer plankonkaven Linse und eine ebene Glasplatte eingeschlossen, und mit dem Ophthalmometer die Bilder gemessen, welche dieses System von bekannten Objekten lieferte. Daraus berechnete er dessen Brennweite.

Außerdem bestimmte er mit dem Ophthalmometer, nach der in § 32 angegebenen Methode, den Radius der konkaven Fläche dieser Linse. Aus diesem und der Brennweite, lässt sich der Brechungsindex des Mediums berechnen, ohne dass man dieselbe Procedur auch mit destilliertem Wasser zur Vergleichung vorzunehmen braucht.

Bestimmung des Drehpunktes mit dem Ophthalmometer.

§ 42. Die ersten ophthalmometrischen Untersuchungen über die Lage des Drehpunktes des Auges, stammen von DONDERS und von JUNGE (34).

Die erste Methode von DONDERS beruhte auf folgendem Gedanken: Wäre die Hornhaut kugelförmig und fiele ihr Centrum mit dem Drehpunkte des Auges zusammen, so müsste ein Reflexbild der Hornhaut, bei allen Drehungen des Auges, stets seinen Ort im Raume beibehalten. Läge der Drehpunkt dagegen hinter dem Centrum, dann müsste sich, bei Bewegung des Auges, auch der Hornhautreflex verschieben, und zwar in gleicher Richtung wie das Auge. Der Wert dieser Verschiebung wäre dann gleich dem Sinus des Bewegungswinkels, beschrieben aus dem Drehpunkte des Auges, mit einem Radius, der gleich ist der Entfernung zwischen dem Drehpunkte und dem Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut.

Die Berechnung nach dieser Methode wird aber, wie DONDERS selbst fand, dadurch erschwert, dass die Hornhaut eben keine Kugelfläche darstellt, sondern ein Rotationsellipsoid, dessen Excentrizität allein schon einen bedeutenden Einfluss auf die Lage des Reflexbildes ausübt. Man müsste also, bei der Berechnung des Drehpunktes aus der Lage des Reflexbildes, auch die elliptische Form der Cornea berücksichtigen, was die Rechnung ungemein erschweren würde. Auch die von JUNGE angegebene Methode verlangt die Kenntnis des Cornealellipsoides.

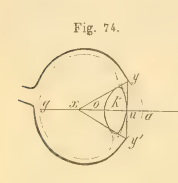
DONDERS und DOJER (32) machten deshalb die Drehpunktsbestimmung nach einer anderen Methode. Sie bestimmten, wie groß der Exkursionswinkel sein muss, damit die Endpunkte des gemessenen horizontalen Durchmessers

der Hornhaut nacheinander mit demselben Punkte im Raume zusammenfallen.

Den Durchmesser der Hornhaut findet man auf oben (§ 34) angegebene Weise.

Das Auge wird, mit Hilfe eines Fixierobjektes, erst so gerichtet, dass seine Hornhautachse mit der Ophthalmometerachse zusammenfällt, und dann vor demselben ein Ring angebracht, welcher ein senkrecht ausgespanntes Haar trägt. Auch der Ring wird centriert, so dass das Haar durch den Hornhautreflex geht. Jetzt handelt es sich darum, zu bestimmen, um wieviele Grade das Auge gedreht werden muss, um, vom Ophthalmometer aus gesehen, erst den einen, dann den anderen Cornealrand mit dem Haare zusammenfallen zu lassen. Die so gefundenen Grade entsprechen dann dem Bogen, den das Auge durchläuft, damit nacheinander die Endpunkte seines Hornhautdurchmessers denselben Ort im Raume einnehmen. Man liest sie ab an dem Bogen, auf welchem das Fixierobjekt läuft, und dessen Centrum ungefähr im Drehpunkte des Auges steht.

Fig. 74.



Bezeichnen, in Fig. 74, x den Drehpunkt, y und y' die Hornhautränder, so ist yxy' ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Winkel yxy', und dessen Basis yy' man, als Durchmesser der Hornhautbasis, kennt. Seine Höhe ux fällt mit der Hornhautachse ag zusammen, und teilt das Dreieck in zwei gleiche, rechtwinklige Hälften. Es ist also:

uy' = halber Durchmesser der Basis,

uxy = halber $\angle yxy'$,

ux = Entfernung des Drehpunktes von der Hornhautbasis,

zu welcher man nur noch ua, die Hornhauthöhe, zu addieren braucht, um die gesuchte Entfernung des Drehpunktes vom Hornhautscheitel zu erhalten.

Wie bemerkt, wird der Winkel yxy' an einem Gradbogen abgelesen, der vom Drehpunkte aus beschrieben ist. Da man aber den Drehpunkt erst sucht, so kann die Stellung des Auges zum Bogen nicht mathematisch genau sein. Der daraus entstehende Fehler ist aber klein, wenn man den Mittelpunkt des Bogens etwas hinter die Mitte des Bulbus fallen lässt. Weitere Methoden zur Bestimmung des Drehpunktes des Auges wird der Leser im Kapitel XI Bd. VIII finden.

Bestimmung der Brennweite von Linsen.

§ 43. Donders benutzte das Ophthalmometer auch zur Bestimmung der Brennweite von Konvexgläsern. Er maß mit dem Ophthalmometer zuerst die Größe eines Objektes, und suchte nun, bei gleichem Stande der

Ophthalmometerplatten, diejenige Entfernung der fraglichen Linse auf, in welcher das durch sie entworfene Bild gleichgroß war, wie das Objekt. Diese Entfernung entspricht der doppelten Brennweite der Linse.

Oder er maß die Größe der dioptrischen Bilder in irgend einer bekannten Entfernung vom Objekte, und berechnete die Brennweite F der Linse nach der bekannten Linsenformel:

Ist B = Größe des Objektes,
β = Größe des Bildes,
f' = Entfernung des Objektes von der Linse,
f'' = Entfernung des Bildes von der Linse,

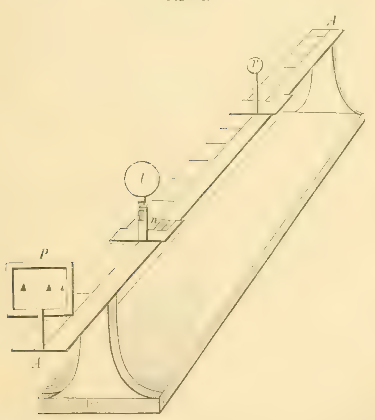
so ist

$$f'' = \frac{\beta f'}{B}$$

und

$$F = \frac{f' \cdot f''}{f' + f''}.$$

Fig. 75.



Die Messungen wurden mit folgendem Apparate vorgenommen (Fig. 75). An dem einem Ende eines horizontalen, metallenen Maßstabes AA, steht die Platte P, mit drei, in schon mehrfach erwähnter Weise angeordneten

Öffnungen. Sie werden von hinten erleuchtet, und bilden das Objekt. Auf dem Maßstabe lassen sich verschieben: ein Linsenhalter l, dessen jeweilige Stellung ein Nonius n angiebt, und ein Ring r. Letzterer dient zur Kontrolle der Centrierung der Linse. Da nämlich sein Mittelpunkt auf der durch die Mitte des Objektes, die Mitte der Linsenfassung und das Ophthalmometer gehenden Achse liegt, so entstehen die von der Linse gelieferten Bilder nur dann in der Mitte des Ringes, wenn dieselbe genau centriert ist. Am anderen Ende der optischen Bank wird das Ophthalmometer angebracht.

Man dreht nun die Ophthalmometerplatten so, dass, durch sie gesehen, das Objekt gerade verdoppelt erscheint, und belässt sie in dieser Stellung. Dann bringt man die zu untersuchende Linse in die Fassung l und stellt sie zweimal soweit von P auf, als ihre mutmaßliche Brennweite beträgt.

Nun stellt man das Fernrohr des Ophthalmometers auf das durch die Linse entworfene Bild ein, und verschiebt dieselbe so lange, bis dasselbe gleichgroß ist wie das Objekt, d. h. bis die drei verdoppelten leuchtenden Punkte wieder dieselbe gegenseitige Stellung haben, wie vor Einführung der Linse. Am Nonius lässt sich dann die Brennweite des Glases ablesen.

Nun bringt man den Ring r an den Ort des Bildes, d. h. so weit von l als l von P entfernt ist, und kontrolliert in oben angegebener Weise die Centrierung der Linse.

In viel einfacherer Art geschieht die Bestimmung der Brennweite und Centrierung von Konvexlinsen mit Snellen's Phakometer, den wir im Anschlusse an die Dioptometrie beschreiben.

Bestimmung des Brechungsindex von Konvexgläsern.

§ 44. Aus der in oben angegebener Weise gefundenen Brennweite F, und den ophthalmometrisch bestimmten Krümmungsradien R' und R'' bikonvexer Linsen, berechnete Donders deren Brechungsindex, nach der Formel:

$$n = \frac{1}{F\left(\frac{1}{R'} + \frac{1}{R''}\right)} + 1.$$

Haben die beiden Oberflächen der Linse gleiche Krümmung ($R' = R''$), so wird

$$n = \frac{R}{2F} + 1.$$

Das Prinzip, das Helmholtz zur Ophthalmometrie verwendet hat, d. h. die Messung eines Objektes mittelst seiner optischen Verdoppelung, lässt sich nicht nur mit Hilfe der planparallelen Glasplatten, sondern noch auf mancherlei andere Weise bewerkstelligen, und in manch anderer Weise anwenden.

Das Ophthalmometer von Coccius.

§ 45. Zur Verdoppelung der zu messenden Gegenstände, resp. Reflexbilder, benutzte Coccius (44, 64) einen doppeltbrechenden Krystall. Am geeignetsten sind solche, deren Verdoppelung ganzen oder halben Millimetern, nicht aber komplizierten Bruchteilen eines Millimeters entspricht.

Bei dieser Methode ist also die Verdoppelung des zu messenden Reflexes eine konstante, während sie sich, bei der Helmholtz'schen, mit der gegenseitigen Stellung der Platten, ändert. Dafür verändert Coccius die Größe des die Reflexe liefernden Objektes, während dieselbe (der gegenseitige Abstand der Lichter) in Helmholtz's Ophthalmometer konstant bleibt.

In beiden Instrumenten aber bleibt unverändert die Entfernung der Lichter von der untersuchten reflektierenden Fläche.

Als Objekt benutzte Coccius zwei, auf einer graduierten Skala verschiebbare Lämpchen, deren Reflexbilder man auf der Hornhaut des untersuchten Auges durch den Doppelspat betrachtet.

Man sucht dann, durch Verschiebung der Lichter auf der Skala, die relative Entfernung derselben, bei welcher ihr Bild gerade verdoppelt erscheint, also, wenn wir ein Licht mit ⟩, das andere mit × bezeichnen, nebenstehende Figur bildet (Fig. 76).

Entspricht z. B. der Doppelbrechungswinkel des Krystalles einem linearen Werte von 3 mm, so ist diese Bildgröße = 2 × 3 mm.

Fig. 76.

Fig. 77.

Sodann verkleinert man, zur Kontrolle der ersten Messung, den Lichterabstand zum zweitenmale so weit, bis das Reflexbild nur mehr die Hälfte obiger Größe hat, also der Anordnung in Fig. 77 entspricht. Dies ergiebt für unser Beispiel eine Bildgröße von 2 × 1,5 mm.

Für jedes Ophthalmometer kennt man natürlich ganz genau die linearen Werte, welche den obigen Gruppierungen der Reflexe entsprechen, um mit Hilfe der Formel

$$r = \frac{2\,a\,\beta}{b}$$

den Krümmungsradius der untersuchten Fläche zu finden.

Handelt es sich um die Krümmung der Hornhaut, oder einer anderen, von Luft begrenzten sphärischen Fläche, so braucht man nur auf einer Skala die dem gefundenen Reflexe β entsprechende Objektgröße (Lichterabstand) b abzulesen, und die konstante Entfernung a der Lichter von der Fläche in Rechnung zu bringen.

Um die Reflexbilder möglichst genau und aus einer gewissen Entfernung beobachten zu können, betrachtet man sie durch ein mit dem Doppelspate centriertes Fernrohr. Dieses besteht aus einem plankonvexen Objektive von 16 cm Brennweite, und einem aus- und einschiebbaren, kampanischen Okulare.

Bei der Messung wird der Kopf des zu Untersuchenden, mittelst einer Stirn- und Hinterhauptslehne, festgehalten, und sein Auge durch ein Fixierzeichen in die gewünschte Stellung gebracht. 54 cm vom Auge des Untersuchten und in gleicher Höhe mit demselben, befinden sich die zwei Lichter, und in der Mitte zwischen beiden das Ophthalmometer.

Das Ophthalmometer, sowie die beiden Lichter müssen selbstredend in den Meridian gebracht werden, dessen Krümmung gemessen werden soll.

Bei 54 cm Entfernung der Lichter von dem untersuchten Auge, einem doppeltbrechenden Krystall von 3 mm Ablenkung, und einem Hornhautradius von 7,5 mm, muss der Abstand der Lichter voneinander 2,16 mm betragen, um das Bild von $2 \times 1{,}5$ mm zu ergeben. Beträgt dagegen der Abstand der Lichter voneinander 202 mm, so muss der Radius 8 mm betragen, damit die Krümmung das gleiche Reflexbild liefere.

Coccius' Instrument soll, nach seinem Erfinder, eine Genauigkeit bis zu $^1/_{25}$ mm zulassen, während Woinow mit dem Helmholtz'schen bis auf $^1/_{100}$ mm genau gemessen haben will.

Wie wir im folgenden Abschnitte sehen werden, haben Javal und Schjötz, nach dem Prinzipe des Coccius'schen, ihr Instrument zur Messung der Hornhautkrümmung konstruiert.

E. Landolt's Ophthalmometer.

§ 46. Auf eine andere Weise habe ich die optische Verdoppelung des zu messenden Gegenstandes erreicht und zur Ophthalmometrie verwendet (65a, 65b, 69, 70). Ein Glasprisma wird, senkrecht zu seiner Kante, entzwei geschnitten, und die beiden Hälften werden in entgegengesetzter Richtung so aufeinander gelegt, wie es Fig. 78 zeigt. PSP sei das obere, $P'S'P'$ das untere Prisma.

Ein Auge A, welches so durch die Trennungsebene der beiden Prismen blickt, dass dieselbe seine Pupille halbiert, sieht doppelt. Die Strahlen, welche von dem Punkte O des Objektes ab kommen, werden von dem Prisma PSP nach d, von dem Prisma $P'S'P'$ nach d' hin abgelenkt. Statt eines Punktes in O, sieht also das Auge zwei: δ und δ'.

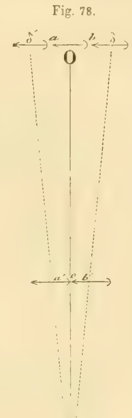
Die gegenseitige Entfernung $\delta\delta' = x$ der beiden Punkte, hängt ab einerseits von dem Brechungsindex und dem Winkel des Prismas, andererseits von der Entfernung $cO = \triangle$, zwischen dem Objekte und der Prismenkombination.

Nennen wir den Ablenkungswinkel des Prismas φ, so ist

$$x = 2\,[illegible] \cdot \text{tang}\,\varphi .$$

Berühren sich die Doppelbilder eines Objektes ab mit ihren entgegengesetzten Endpunkten o (Fig. 78), so ist die durch die Prismen hervorgebrachte Verdoppelung gleich dem Durchmesser des Objektes.

Fig. 78.



Die Prismenkombination lässt sich auf einem eingeteilten Stabe verschieben. Der Nullpunkt entspricht dem Orte des zu messenden Objektes. An diesem Orte wurde erst eine Millimeterteilung angebracht und die Prismenkombination davon entfernt, während man auf dem Stabe die dadurch hervorgebrachte Verdoppelung anmerkte.

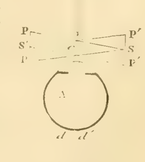
In Helmholtz's Ophthalmometer sind konstant die Entfernung des Instrumentes vom untersuchten Auge, sowie die Objektgröße; veränderlich ist der Wert der Verdoppelung.

In Coccius' Ophthalmometer sind konstant die Entfernung desselben vom untersuchten Auge, sowie die Verdoppelung; verändert wird die Objektgröße.

In Landolt's Ophthalmometer sind konstant die Verdoppelung sowie die Objektgröße, während die Entfernung des Instrumentes von dem zu messenden Gegenstande verändert wird.

Eine genauere Beschreibung meines Instrumentes findet sich in dem Paragraphen der Keratometrie S. 167 (70, S. 770).

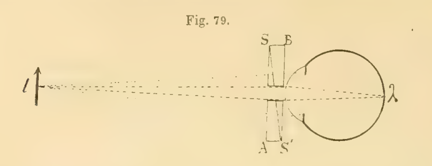
Zu diesen Untersuchungen würde sich auch ein Prinzip eignen, nach welchem ich ein Telemeter konstruiert habe (72). Es sei mir gestattet, dasselbe in diesem, den Untersuchungsmethoden gewidmeten Werke, kurz auseinander zu setzen. Wir werden zu gleicher Zeit ein Instrument, das sogenannte Doppelprisma, näher kennen lernen, das bei der Untersuchung der Augenbewegungen eine große, praktische Bedeutung hat.



Legt man zwei gleiche prismatische Gläser so aufeinander, dass ihre Kanten S und S' umgekehrt gerichtet sind, wie Fig. 79 darstellt, so neutralisieren sich die beiden Prismen, und üben auf die sie durchdringenden Lichtstrahlen keine andere Wirkung aus, als eine planparallele Glasplatte. Ihre Außenflächen AS und BS' sind, in der That, parallel.

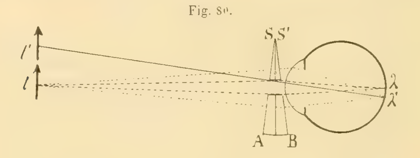
Dreht man aber die Prismen übereinander, so bilden ihre Außenflächen miteinander einen Winkel, der um so größer ist, je mehr man dieselben aus

Fig. 79.



ihrer ursprünglichen Lage entfernt hat. Man erhält auf diese Weise also ein Prisma von veränderlichem Ablenkungswinkel (Herschell). Seine stärkste Wirkung hat es offenbar dann, wenn, wie in Fig. 80, die

Fig. 80.



Prismen gleichgerichtet sind. Drehen sich die beiden Prismen, mit gleicher Geschwindigkeit, in umgekehrter Richtung, so bleibt die Richtung des resultierenden Prismas konstant.

Bringt man nun in den beiden Prismen eine centrale Öffnung an, die kleiner ist als die Pupille, und nähert das Instrument dem Auge, so wird ein Teil der von einem Punkte *l* ausgegangenen Strahlen, durch die Prismenkombination, ein anderer durch deren Durchbohrung, in das Auge dringen.

Sind die Prismen, wie in Fig. 79, zu einander umgekehrt gerichtet, so werden sich nichtsdestoweniger alle von *l* kommenden Strahlen im gleichen Punkte λ des Auges vereinigen.

Dreht man aber die Prismen, um eine durch das Centrum ihrer Öffnung gehende Achse, so werden die sie durchlaufenden Strahlen von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, und vereinen sich in einem anderen Punkte λ' (Fig. 80) als diejenigen, welche, von den Prismen unbeeinflusst, durch die Öffnung gegangen sind. Von dem Punkte *l* entstehen also auf der Netzhaut zwei Bilder, λ und λ'. Das Auge sieht denselben zweimal: in *l* und *l'*.

Die beiden Netzhautbilder sind offenbar um so weiter voneinander entfernt, je stärker die durch die Prismen bewirkte Ablenkung ist, d. h., bei gleichen Prismen, um einen je größeren Winkel dieselben gedreht worden sind. Die gegenseitige Entfernung der Doppelbilder hängt außerdem noch ab von der Entfernung des Objektes. Sie ist derselben proportional.

Unser durchbohrtes Herschell'sches Prisma hat also eine den Helmholtz'schen Ophthalmometerplatten ähnliche Wirkung, und kann, wie diese, entweder zur Messung eines unbekannten, in bekannter Entfernung befindlichen Objektes, oder einer unbekannten Entfernung, mittelst eines Objektes von bekannter Größe verwendet werden. Ja die Objektgröße braucht sogar nicht einmal bekannt zu sein, wenn man nämlich, mit demselben Objekte, zwei Beobachtungen, aus zwei bekannten Entfernungen vornimmt.

Wünscht man die Prismenkombination zur Ophthalmometrie zu verwenden, so stellt man dieselbe in konstanter Entfernung von den zu messenden Objekten, resp. Reflexbildern auf, und dreht die Prismen, bis sich das Bild des beobachteten Objektes mit seinen entgegengesetzten Endpunkten berührt. Aus der dazu erforderten Drehung ergiebt sich dann die gesuchte Größe. Man kann dieselbe berechnen, oder besser, wie bei dem Helmholtz'schen Instrumente, an einer empirisch angelegten Tafel ablesen.

Wie Helmholtz's Platten, so kommen auch unsere Prismen, bei einer vollen Drehung von 360°, viermal in die Stellung, wobei das Objekt gerade verdoppelt ist. Durch vier auf diese Weise ausgeführte Beobachtungen, werden also auch hier Konstruktionsfehler des Instrumentes eliminiert.

Zur Berechnung würde folgende Überlegung dienen:

Dreht man ein Prisma um eine zu seiner Trennungsebene senkrechte Achse, so kann man sich seine Wirkung zerlegt denken in zwei zu einander senkrechte Prismen, von denen das eine vertikal, das andere horizontal gerichtet wäre.

Die Wirkungen dieser beiden Prismen verhalten sich zu einander umgekehrt; nimmt die eine bei der Drehung des Prismas zu, so nimmt die andere ab.

Sei α der Öffnungswinkel BAC des Prismas (Fig. 81),
γ der Drehungswinkel desselben,
β der Winkel GFH des horizontalen Durchschnittes des Prismas,
δ … DAE » vertikalen »

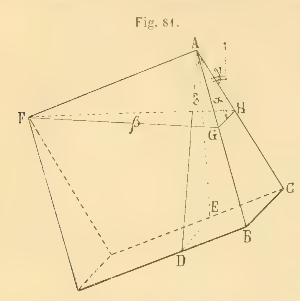
so gelten für die letzteren Winkel folgende Ausdrücke:

$$\text{tang}\,\frac{\beta}{2} = \text{tang}\,\frac{\alpha}{2}\cdot\sin\gamma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

$$\text{tang}\,\frac{\delta}{2} = \text{tang}\,\frac{\alpha}{2}\cdot\cos\gamma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Konstruiert man mit diesem Prisma ein zweites, gleiches, und dreht es in entgegengesetztem Sinne um dieselbe Achse, so ist die eine der beiden Komponenten, z. B. die horizontale (β), gerade umgekehrt gerichtet wie die entsprechende Komponente des anderen Prismas, und die beiden heben sich also auf. Die andere Komponente (δ, (Fig. 81) dagegen, ist der des anderen Prismas gleichgerichtet, sie verdoppelt also deren Wirkung. Während, bei fortgesetzter Drehung der Prismen, die beiden Winkel β, gleichmäßig abnehmend, sich stets aufheben, nimmt der Winkel 2δ zu, bis er gleich 2α ist, wenn die beiden Prismen gleichgerichtet sind. Dann sind die beiden β Null.

Fig. 81.



Fährt man in der Drehung weiter, so nimmt 2δ ab; das β des einen neutralisiert sich aber immer mit dem β des anderen Prismas.

Befindet sich in der Entfernung $\triangle$ ein Objekt von der Größe 0, so ist der Ablenkungs- oder Verdoppelungswinkel, bei welchem die entgegengesetzten Endpunkte des Objektes sich gerade berühren, offenbar gleich dem Gesichtswinkel, unter welchem das Objekt dem Beobachter erscheint.

Nennen wir diesen Winkel ε.

Dann können wir schreiben:

$$\text{tang}\,\frac{\varepsilon}{2} = \frac{\frac{0}{2}}{\triangle}.$$

Ist das Objekt im Vergleich zu seiner Entfernung sehr klein, so dürfen wir wohl abkürzend setzen:

$$\text{tang}\,\varepsilon = \frac{0}{\triangle}.$$

woraus sich ergiebt:

für den Durchmesser des Objektes: $0 = \triangle \cdot \text{tang}\,\varepsilon$,

für die Entfernung des Objektes: $\triangle = \frac{0}{\text{tang}\,\varepsilon}$.

Litteratur.

Ophthalmometrie.

1730. 1. Petit, Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris. 1723—1730. S. 54. 1723; S. 18. 1725; S. 375. 1726; S. 408. 1728; S. 4. 1730.

1738. 2. Jurim, Essay upon distinct and indistinct vision. Smith's complete System of Optics. S. 141.

1801. 3. Young, Th., Philos. Transact. I. S. 55; XCII. S. 23. 1805. Miscellaneous works of the late Th. Young by G. Peacock. I. S. 12. London 1805.

1837. 4. Sanson, Leçons sur les maladies des yeux. Paris.

5. Müller, J., Lehrbuch der Physiologie des Menschen. II. S. 276—393.

1840. 6. Kohlrausch, Über die Messungen des Radius der Vorderfläche der Hornhaut am lebenden menschlichen Auge. Oken's Isis.

1841. 7. Kohlrausch, Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges. S. 16—93. Berlin.

8. Gauss, Dioptrische Untersuchungen. Göttingen.

1845. 9. Listing, Dioptrik des Auges. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. IV.

10. Listing, Beiträge zur physiologischen Optik. Göttingen.

1846. 11. Volkmann, Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. III. S. 265.

12. Senff, Wagner's Handwörterbuch der Physiol. III, 1. S. 271.

13. Meyer, H., Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. V.

1847. 14. Brücke, Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels. Berlin.

1850. 15. Stellwag von Carion, Zeitschr. d. Wiener Ärzte. Heft 3. S. 125.

1851. 16. Czermak, Prager Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilk. XXXII.

1852. 17. Cramer, Tijdschr. der Nederl. Maatsch. tot bevordering der Geneesk. Januar.

1853. 18. Cramer, Het accommodatievermogen der Oogen. S. 61. Haarlem.

1854. 19. v. Helmholtz, Arch. f. Ophth. I, 2. S. 1.

19a. v. Helmholtz, Arch. f. Ophth. I, 2. S. 33.

20. v. Helmholtz, Arch. f. Ophth. II. S. 3.

21. Ruete, Lehrbuch der Ophthalmologie.

1855. 22. Krause, C., Bemerkungen über den Bau und die Dimensionen des menschlichen Auges. Merkel's Arch. f. Anat. u. Physiol. VI. S. 86 u. Pogg. Ann. XXXI. S. 93.

23. Krause, C., Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschlichen Auges. S. 529. Hannover.

1856. 24. v. Zehender, Anleitung zur Dioptrik des Auges. Erlangen.

1857. 25. v. Zehender, Arch. f. Ophth. III, 2. S. 99.

1860. 26. Knapp, J. H., Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges. Heidelberg.

27. Knapp, J. H., Arch. f. Ophth. VII, 2. S. 1.

1861. 28. Knapp, J. H., Über die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridianen. Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 185.

29. Knapp, J. H., Über die Diagnose des irregulären Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 304.

30. Valentin, G., Änderung des Charakters der Doppelbrechung in Krystalllinsen. Arch. f. Ophth. VIII, 1. S. 88.

31. Meyerstein, Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. XI.

1862. 32. Donders, F. C., en D. Dojer. De ligging van het draaipunt van het oog. Verslag Nederl. Gasthuis voor Ooglijders. No. 3. S. 209. Deutsch: Arch. f. d. Holl. Beiträge. 2. Natur- u. Heilk. III. S. 260. 1864.

1863. 33. Middelburg, De zitplaats van het astigmatisme. S. 20.

1864. 34. Donders, F. C., On the anomalies of Accommodation and Refraction of the Eye. Deutsch: Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation. Wien 1866.

1864. 35. Giraud-Teulon. Nouvelle étude de la marche des rayons lumineux dans l'oeil. Rôle de chacun des milieux dioptriques. Ann. d'Ocul. LI. S. 145.
1865. 36. Mandelstamm, E., Zur Ophthalmometrie. Arch. f. Ophth. XI, 2. S. 257
37. Rosow, B., Zur Ophthalmometrie. Aus dem physiol. Lab. v. Prof. v. Helmholtz. Arch. f. Ophth. XI, 2. S. 129.
1866. 38. Cyon, Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissensch.
39. Schirmer. Lehre von den Refraktions- und Akkommodationsstörungen des Auges. Berlin.
1867. 40. Wundt, Med. Physik. Erlangen.
41. Giraud-Teulon. Vorzeigung einiger optischer Instrumente. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 276. (Sitzungsber. II, 4.
42. Giraud-Teulon. Lois de la réfraction dans les systèmes de surfaces sphériques. Ann. d'Ocul. LVIII. S. 213.
43. v. Helmholtz. Handbuch der physiologischen Optik. S. 8 ff. Leipzig 1867 u. 1896.
44. Coccius, Über den Mechanismus der Akkommodation des menschlichen Auges. Leipzig.
1869. 45. Mauthner, Über den Winkel α. Heidelberger Kongress. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VII. S. 481.
46. Gerold, Ophthalmologische Optik. I u. II. Wien.
47. Woinow. Ophthalmometrie. Messungen der Linse. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VII. S. 476.
48. Woinow. Über den Winkel α. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VII. S. 482.
49. Mauthner, Wiener med. Presse. No. 34—37.
50. Reuss und Woinow, Ophthalmometrische Studien. Wien.
1870. 51. Coccius, Die Heilanstalt für arme Augenkranke zu Leipzig.
52. Knapp, Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. I, 2.
53. Woinow, Arch. f. Ophth. XVI, 1.
54. Woinow, Über Ophthalmometrie. (Russisch.)
55. Woinow, Kritik der Ophthalmometrie. Inaug.-Diss. (Russisch.)
56. Woinow, Über den Drehpunkt des Auges. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 243.
57. Woinow, Weitere Beiträge zur Kenntnis des Winkels α. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 225.
1871. 58. Woinow, Ophthalmometrie. S. 40. Wien.
58a. Woinow, Ophthalmometrie. S. 90.
59. Woinow. Analyse critique de la méthode ophtalmométrique de l'investigation des éléments dioptriques de l'oeil. Inaug.-Diss. Moskau.
1872. 60. Woinow. Ophthalmometrische Messungen an Kinderaugen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 280.
61. Lobo, Gama. Neue Methode zur Messung des Abstandes der hinteren Linsen- von der vorderen Hornhautfläche. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Sept. X. S. 288. (Einfache Erwähnung.)
62. Mandelstamm, L., und Heinrich Schöler. Eine neue Methode zur Bestimmung der optischen Konstanten des Auges. Arch. f. Ophth. XVIII, 1. S. 155.
63. Mauthner. Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. I. S. 43 ff.
64. Coccius. Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge. Leipzig, und Heilanstalt für arme Augenkranke. Leipzig 1872.
1874. 65a. Landolt, E., Graefe-Saemisch, Handb. d. ges. Augenheilk. III. S. 226.
1876. 65b. Landolt, E., Le diplomètre. Acad. des Sc. Compte rendu. 17. Février. Ann. d'Ocul. LXXV. S. 290.
66. Mauthner, Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. S. 43 ff. Wien.
1877. 67. Landolt, E., De l'oeil artificiel. Bull. Gén. de Thérap. 15 et 30. Déc. Das künstliche Auge. Zürich. 28 S.

1877. 68. Snellen, The phakometer. Boston med. and Surg. Journ. S. 383.
69. Landolt, E., Über Ophthalmometer und künstliches Auge. Internat. med. Kongr. Genf. 10. Sept.
1878. 70. Landolt, E., Ophthalmometrie in de Wecker et Landolt, Traité complet d'Ophth. I. S. 738.
1880. 71. v. Reuss, A., Ophthalmometrische Mitteilungen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVI, 3. S. 1.
1881. 72a. Landolt, E., Un télémètre. Arch. d'Opht. I. S. 13.
1882. 73. v. Hippel, Bestimmung des Astigmatismus. Med. Ges. Gießen. 12. Dez.
1883. 73a. Landolt, E., In de Wecker et Landolt, Traité complet d'Opht. III. S. 111 und Refraction and Accommod. of the Eye. S. 117.
1889. 74. Gullstrand, A., Bestimmung des Hornhautastigmatismus mittelst Denivellierung des ophthalmometrischen Bildes. Nord. ophth. Tidsskr. II. S. 93.
75. Meyer, E., De la forme de l'hémisphère antérieur de l'oeil déterminée par la mensuration des courbures de la cornée et de la sclerotique. Rev. Gén. d'Opht. S. 529.
1891. 76. Aubert, H., Die Genauigkeit der Ophthalmometermessungen. Arch. f. d. ges. Physiol. IL. S. 626.
77. Tscherning, Recherches sur la quatrième image de Purkinje. Arch. de Phys. norm. et Path. III, 1. S. 96.
1894. 78. Gullstrand, Photographische Untersuchung der Krümmung der peripheren Teile der Cornea. Hygiea. Svenskea läk. förh. S. 128.
1896. 79. Uhthoff, W., Beitrag zur Keratoskopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 219.
80. Uhthoff, W., Demonstration eines Keratoskopes. 25. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 316.
81. Gullstrand, A., Photographisch-ophthalmometrisch klinische Untersuchungen der Hornhautrefraktion. Stockholm.
1897. 82. Sulzer, Du rôle de la cornée dans la production des differences existant entre l'astigmatisme cornéen mesuré à l'aide de l'ophtalmomètre et l'astigmatisme total. Ann. d'Ocul. CXII. S. 123.
1898. 83. Awerbach, M., Krummung der Vorderfläche der Cornea. Med. Obozrenje. L. S. 870.
84. Baster, Improvement on illuminating the ophthalmometer. Ophth. Rec. February.
85. Hegg, E., Eine neue Methode zur Messung der Tiefe der vorderen Augenkammer. Arch. f. Augenheilk. XLIV, Ergänzungsheft. S. 84.

Keratoskopie und Keratometrie.

Von

Dr. A. Eugen Fick.

I.

§ 47. Die wichtigste brechende Fläche des Auges ist die Oberfläche der Hornhaut. Sie bricht die auffallenden Lichtstrahlen wohl viermal so stark wie die vordere und hintere Linsenfläche zusammen. Die Untersuchung der Hornhautoberfläche spielt deshalb in der Augenheilkunde eine hervorragende Rolle.

Die einfachste Untersuchungsmethode ist die *Betrachtung*. Sie lehrt, dass die gesunde Hornhaut im ganzen eine kugelig gewölbte Oberfläche hat. Beträchtliche Abweichungen von der Kugelgestalt sind ohne weiteres zu erkennen, besonders gut bei Betrachtung in Seitenansicht. So kann man z. B. starke Grade von Hornhautkegel erkennen; ferner Keratoglobus, Ektasie und Staphylom der Hornhaut.

Ungleich viel häufiger als diese Zustände kommen aber Abweichungen von der Kugelgestalt vor, die zu gering sind, um ohne weiteres bemerkt zu werden. Die Betrachtung der Hornhautoberfläche muss also vervollkommnet werden. Die Möglichkeit dazu ist durch die Thatsache gegeben, dass die Hornhautoberfläche als Trennungsfläche zweier durchsichtiger Mittel von ungleicher Dichte die auffallenden Lichtstrahlen *nicht bloß bricht, sondern auch spiegelt*. Die Schärfe der Spiegelbilder hängt von der Glattheit der Hornhaut ab; Größe und Gestalt der Spiegelbilder wird von der Krümmung der Hornhautoberfläche beeinflusst. Die Betrachtung dieser Spiegelbilder wird als *Keratoskopie* bezeichnet.

Das einfachste keratoskopische Verfahren ist folgendes: Der Arzt stellt sich mit dem Rücken gegen das Fenster; der Kranke steht dem Arzte gegenüber, also mit dem Gesicht gegen das Fenster. Dann sieht der Arzt auf der Hornhaut des Kranken (streng genommen etwas hinter ihr) ein stark verkleinertes Spiegelbild des Fensters. Die einzelnen Fensterscheiben des Bildes sind rechteckige kleine Felder, die wie poliertes Silber glänzen, vorausgesetzt, dass das spiegelnde Stückchen der Hornhaut vollkommen glatt ist. Wenn dagegen die geringste Unregelmäßigkeit daran vorhanden ist, z. B. ein kleiner Substanzverlust, ein Fremdkörper, eine Epithelscholle oder ein Schleimfädchen, so zeigt sich in der silberglänzenden Fläche eine Unterbrechung, eine Lücke, ein Hügel, eine Linie, kurz eine Unregelmäßigkeit, die in vielen Fällen genügt, um den Sachverhalt klar zu machen. In anderen Fällen ist in dem Spiegelbilde der Fensterscheibe eine besondere Unregelmäßigkeit nicht wahrzunehmen, wohl aber fehlt der helle Silberglanz des Bildchens; es erinnert jetzt im Aussehen mehr an Blei. Die Ursache dieser Erscheinung ist eine *gleichmäßige* Rauhheit der Oberfläche.

Selbstredend beschränkt man sich nicht auf die Betrachtung desjenigen Hornhautstückchens, das gerade dem Beobachter das Fensterbild zuspiegelt, vielmehr lässt man das zu untersuchende Auge nach rechts, links, oben und unten blicken, um so nach und nach von jedem Stückchen der Hornhaut einmal das Fensterbild zugespiegelt zu erhalten.

Diese Methode lässt sich vervollkommnen durch Zuhilfenahme der *Lupenvergrößerung*. Zu dem Ende wird das Zimmer verdunkelt. Eine Steinöl- oder Gaslampe steht etwa $^3/_4$ m vor und etwas links seitwärts von dem zu untersuchenden Auge; der Arzt etwas vor und rechts seitwärts von dem Kranken. Mit der rechten Hand hält der Arzt eine Sammellinse, durch die

ein verkleinertes umgekehrtes Bild der Lampenflamme dicht vor der Hornhaut entworfen wird. Man sieht dann das Spiegelbildchen des in der Luft schwebenden Flammenbildes auf bezw. hinter der Hornhaut. Durch eine geringe Annäherung der Sammellinse an das Auge verschmilzt nun das von der Hornhaut gelieferte Spiegelbildchen der Flamme mit einem Spiegelbilde der Sammellinse, und man sieht demgemäß auf der Hornhaut ein kreisrundes, goldig glänzendes Scheibchen, in dem sich mittelst Lupenhilfe alle Unregelmäßigkeiten des betreffenden Hornhautstückes erkennen lassen, selbst wenn sie von fast mikroskopischer Kleinheit sind.

Will man aus einem Spiegelbilde auf die Form der Hornhaut schließen, so muss man als Objekt einen Gegenstand wählen, der eine schärfer begrenzte und regelmäßigere Gestalt hat wie ein Fenster. Ein geeigneter Gegenstand ist ein Quadrat von etwa 20 cm Seite; man kann es aus weißer Pappe herstellen und wird gut thun, die eine Fläche mit weißem Glanzpapier zu beziehen.

Nun stellt man den Kranken mit dem Rücken gegen das Fenster und hält ihm das Quadrat in mindestens 1/4 m Abstand vor das Auge; die Vorderfläche des Quadrates soll von dem Tageslicht voll getroffen werden, also hell beleuchtet sein, während die zu untersuchende Hornhaut im Schatten steht. Der Kranke wird angewiesen, die Mitte des Quadrates zu fixieren, das so zu halten ist, dass es von der Gesichtslinie des Kranken senkrecht getroffen wird. Der Arzt blickt durch ein Loch in der Mitte des Quadrates nach der zu untersuchenden Hornhaut. Falls sie eine kugelig gekrümmte Oberfläche hat, liefert sie ein quadratisches Spiegelbildchen. Bei sehr vielen Hornhäuten ist das auch wirklich der Fall, und daraus folgt, dass wenigstens die Mitte vieler Hornhäute kugelig gekrümmt ist.

Fordert man den Untersuchten auf, den oberen oder unteren, den rechten oder linken Rand des Quadrates zu fixieren, so spiegelt ein anderes Hornhautstück dem Beobachter ein Bild des Quadrates zu. Dies Bild sieht aber ganz anders aus; es ist größer wie das von der Hornhautmitte gelieferte, ist nicht quadratisch, sondern länglich, ja oft genug gar nicht einmal rechtwinklig, sondern schiefwinklig.

Alle diese Abweichungen kann nun aber schon das von der Hornhautmitte gelieferte Spiegelbildchen zeigen und damit beweisen, dass auch der mittelste, optisch wichtigste Teil der Hornhaut nicht genau kugelig gekrümmt ist. Ein solches Auge nennt man astigmatisch; regelmäßig astigmatisch, wenn die verschiedenen Längenkreise ungleich stark gekrümmt sind; unregelmäßig astigmatisch, wenn sogar in ein und demselben Längenkreise ungleiche Krümmungen vorkommen.

Die Beziehungen zwischen der Form einer regelmäßig astigmatischen Hornhaut und der Gestalt ihrer Spiegelbilder lassen sich durch eine Betrachtung entwickeln, die an mathematische Kenntnisse sozusagen keine Ansprüche stellt.

Zum Zwecke dieser Betrachtung denken wir uns auf dem quadratischen Papierblatte die beiden Diagonalen gezogen; sie allein sollen zunächst der sich spiegelnde Gegenstand sein. Wir halten das Blatt so vor die Hornhaut, dass die eine Diagonale in der Ebene des Längenkreises stärkster Krümmung steht. Dann muss die andere Diagonale in der Ebene des Längenkreises flachster Krümmung liegen, weil sich ja die zwei Diagonalen eines Quadrates unter rechten Winkeln schneiden[1]. Nehmen wir an, der Längenkreis stärkster Krümmung stehe senkrecht und wir blicken durch den Durchschnittspunkt der Diagonalen nach der Hornhaut, dann sehen wir hinter der Hornhaut eine kürzere senkrechte und eine längere wagrechte Bildlinie. Jede der Bildlinien wird von einem Hornhautstreifchen geliefert, das äußerst schmal ist. Denn jeder Punkt der (virtuellen) Bildlinie sendet in die Pupille des Beobachters einen Strahlenkegel, dessen Basis diese Pupille selber ist. Nehmen wir den Durchmesser unserer Pupille zu 4 mm an, ihren Abstand von der spiegelnden Hornhaut zu 250 mm, den Krümmungshalbmesser dieser Hornhaut zu 8 mm, so ergiebt sich als Durchmesser x des Strahlenkegels am Orte der untersuchten Hornhautoberfläche

$$\frac{x}{4} = \frac{8:2}{250 + 8:2};$$

$$x = \frac{16}{258} = \frac{1}{16}\text{ [2]}$$

mit anderen Worten: das senkrechte Hornhautstreifchen, das dem Beobachter jene senkrechte Bildlinie zuspiegelt, hat nur $^1/_{16} = 0{,}063$ mm Breite. Man darf also wohl von einem spiegelnden Längenkreise reden. Ebenso wird die wagrechte Bildlinie von dem wagrechten Längenkreise der Hornhaut geliefert. Da er flacher gekrümmt ist wie der senkrechte, so liefert er ein größeres Spiegelbild; mit anderen Worten: das Spiegelbild der beiden gleichlangen Diagonalen besteht aus einem Kreuz, dessen senkrechter Schenkel kürzer ist als der wagrechte.

Denken wir uns nun statt des Kreuzes das ganze Quadrat als Objekt, und zwar aufgelöst in Parallellinien, die der Ebene des einen Hauptlängenkreises angehören, bezw. parallel sind; hierauf in eine zweite Schar von Parallellinien, deren Richtung dem anderen Hauptlängenkreise entspricht, so ergiebt die Anwendung unseres Gedankenganges auf das so hergerichtete Quadrat den Satz:

1) In voller Strenge gilt der Satz, dass der Längenkreis stärkster und der Längenkreis schwächster Krümmung senkrecht aufeinander stehen, nur für das Flächenelement. Bei der Hornhaut als einem Ganzen ist es nicht undenkbar, dass die beiden Hauptlängenkreise sich schiefwinklig schneiden. Dies kommt auch thatsächlich vor, kann hier aber außer Betracht gelassen werden.

2) Der Ort des Bildes ist bei $^1/_4$ m Objektabstand noch ziemlich genau $\frac{r}{2}$ hinter der brechenden Fläche.

Ein Gegenstand spiegelt sich auf einer regelmäßig astigmatischen Hornhaut so, dass sein Spiegelbild in der Richtung des Längenkreises schwächster Brechung verlängert erscheint.

Von einem Quadrat liefert also die astigmatische Hornhaut ein Bild mit rechten Winkeln, falls die Seiten des Quadrates den Hauptlängenkreisen parallel sind, dagegen ein Viereck mit schiefen Winkeln, falls die Seiten des Quadrates schräg stehen gegen die Hauptlängenkreise der Hornhaut. Diese Thatsache giebt ein sehr einfaches Mittel, die Stellung der Hauptlängenkreise einer astigmatischen Hornhaut durch Versuch zu bestimmen. Man braucht nur das quadratische Objekt so lange in seiner eigenen Ebene zu drehen, bis die etwa schief geratenen Ecken des Spiegelbildchens rechtwinklig werden. Natürlich muss mit dem Quadrat eine Vorrichtung verbunden sein, an der man die jeweilige Stellung des Quadrates ablesen kann. Ein so ausgestattetes Quadrat nennt man Keratoskop. Es giebt eine ganze Reihe von Keratoskopen. Die bekanntesten seien hier kurz beschrieben.

§ 48. 1. Das Placido'sche (20) Keratoskop. Als Objekt dient eine kreisförmige Scheibe von 23 cm Durchmesser. Ihre Vorderfläche ist mit einer Anzahl koncentrischer Ringe bemalt, abwechselnd in weißer und schwarzer Farbe. Die Fig. 82 zeigt die Scheibe in der von Javal und Schiötz verwendeten Spielart. Die Rückfläche der Scheibe ist schwarz. Ihre Mitte hat ein Loch von 1 cm Durchmesser. Dem Rande dieses Loches ist eine cylindrische Röhre von 3 cm Länge aufgesetzt, deren Achse auf der Scheibe senkrecht steht und durch ihren Mittelpunkt geht. Man hält die Scheibe in etwa 15 cm Abstand von der Hornhaut, und zwar so, dass die Gesichtslinie des untersuchten Auges und die Achse der cylindrischen Röhre zusammenfallen. Der Beobachter befindet sich hinter der Scheibe und blickt in der Richtung der Cylinderachse nach der Hornhaut des Untersuchten.

Fig. 82.

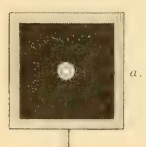


Ist die Hornhaut kugelig, so liefert sie kreisförmige[1] Spiegelbilder der weißen und schwarzen Ringe; ist sie astigmatisch, so werden die Spiegelbilder elliptisch. Die langen Achsen der Ellipsen fallen in die Ebene des Längenkreises schwächster Brechung.

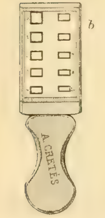
Diesem Keratoskop hat Javal (21) eine Sammellinse zugefügt, mit deren Hilfe der Beobachter die Spiegelbilder vergrößert sieht.

Berger (22) ersetzte die koncentrischen Kreise Placido's durch eine Gruppe von Radien (Green's Sternfigur). Eine der Linien hebt sich durch besondere Farbe von den übrigen ab. Diese Linie ist mit einem Zeiger fest verbunden, der auf der Rückfläche der Scheibe über einer Kreisteilung gleitet. Die Kreisteilung ist an einer cylindrischen Röhre befestigt. Die Scheibe lässt sich in ihrer eigenen Ebene um die Röhre drehen. Man dreht nun die Scheibe, bis das Bild des farbigen Halbmessers länger erscheint als die aller anderen; dann giebt der Zeiger auf der Rückfläche in Winkelgraden an, wie der Längenkreis schwächster Brechung gerichtet ist.

Fig. 83.







Das Bildchen *a* ist auf 1/7 der natürlichen Größe verkleinert, *b* fast in natürlicher Größe.

2. Das Keratoskop von de Wecker und Masselon (23 und 24). Es besteht aus einem schwarzen, in der Mitte durchbohrten Quadrat, das von einem weißen, 1,5 cm breiten Rahmen eingesäumt ist; der quadratische Rahmen hat 18 cm Seitenlänge; er ist das sich spiegelnde Objekt (Fig. 83 a). Auf der Rückfläche der Tafel sind Handgriff und Kreisteilung angebracht; an der Kreisteilung gleitet ein mit der Tafel fest verbundener Zeiger. Die Tafel wird in 20 cm Abstand der zu untersuchenden Hornhaut gegenüber gehalten; ein Stäbchen von 20 cm Länge dient dazu, diesen Abstand festzuhalten; das Stäbchen wird mit dem einen Ende in die Vorderfläche der Tafel gestekt und lehnt mit dem anderen Ende, bezw. mit einem hier angebrachten Ringe, gegen den Augenhöhlenrand des Kranken. Man dreht nun die Tafel in ihrer eigenen Ebene, bis das Spiegelbild des Rahmens rechteckig ist, und vergleicht dann dies Spiegelbild mit den 10 Figuren eines kleinen Täfelchens (Fig. 83b). Jede dieser 10 Figuren stellt das Spiegelbild einer Hornhaut

---

1 Das ist freilich nur richtig, wenn die Scheibe so weit von der Spiegelfläche entfernt ist, dass der Abstand aller Scheibenpunkte von der Spiegelfläche als gleich betrachtet werden darf. Bei einer Scheibe von 23 cm Durchmesser und einem Abstande von 15 cm ist aber diese Annahme, wie mir scheint, nicht mehr zulässig.

vor, die zwischen 0 und 8, bezw. 10 Dioptrien Astigmatismus hat. Man sucht diejenige der 10 Figuren heraus, die dem Spiegelbilde der untersuchten Hornhaut am ähnlichsten ist. Neben jeder der 10 Figuren steht eine Zahl, die in Dioptrien den Astigmatismus derjenigen Spiegelfläche nennt, die auf 20 cm Abstand diese Figur als Spiegelbild eines Quadrates von 18 cm Seite liefert.

Wenn eine astigmatische Hornhaut von einem quadratischen Objekt ein rechteckiges Spiegelbild liefert, dann muss es ein Rechteck geben, das von jener Hornhaut quadratisch gespiegelt wird. Diese Überlegung hat de Wecker und Masselon (25) dazu geführt, ihr Keratoskop in einer vervollkommneten Spielart herzustellen. Durch einen Schraubentrieb werden zwei sich gegenüberliegende Seiten des Quadrates einander genähert. Gleichzeitig bewegt der Schraubentrieb einen Zeiger, der auf der Rückseite des Keratoskopes an einem Maßstabe entlang gleitet. Hat man durch Drehen an der Schraube dasjenige Rechteck hergestellt, dessen Spiegelbild genau quadratisch aussieht, so liest man die Stellung des Zeigers und damit den vorhandenen Astigmatismus in Dioptrien ab. Die Einteilung des Maßstabes kann sowohl durch Versuch als auch durch Rechnung bestimmt werden.

3. Das Keratoskop von C. du Bois-Reymond (40). Eine schwarze Scheibe mit weißem Ringe. In dem Ringe eine weiße Linie in der Richtung eines Durchmessers. Man dreht die Scheibe in ihrer eigenen Ebene, bis das Bild der weißen Linie mit der Längsachse des elliptischen Spiegelbildchens zusammenfällt. Dann wird die Stellung der weißen Linie an einer Kreisteilung auf der Rückfläche der Scheibe abgelesen. Nun macht man das elliptische Spiegelbildchen zu einem kreisförmigen durch Neigung der Scheibe gegen die gemeinsame Achse des untersuchten und des beobachtenden Auges. Aus dem hierzu nötigen Neigungswinkel der Scheibe gegen die Achse lässt sich der vorhandene Astigmatismus berechnen, bezw. an dem dazu eingerichteten Keratoskop ablesen.

4. Das Keratoskop von Uhthoff (61) ist wie ein Schweigger'sches Handperimeter gebaut. Der Unterschied besteht darin, dass der Perimeterbogen 6 cm breit und mit drei schwarzen und vier weißen, gleichbreiten, parallelen Streifen ausgestattet ist; diese Streifen bilden das sich spiegelnde Objekt. Es hat in allen seinen Punkten denselben Abstand von der spiegelnden Hornhaut, was bei den anderen Keratoskopen nicht der Fall ist; und das keratoskopische Bild umspannt die ganze Hornhaut, was besonders wertvoll ist für das Erkennen von Unregelmäßigkeiten, die sich auf bestimmte Stellen der Hornhaut beschränken, z. B. Keratoconus oder örtliche Ektasie.

II.

§ 49. Die verschiedenen Keratoskope dienen, wie wir sahen, auch schon zu Messungen an der Hornhaut, nämlich zur Messung des

Astigmatismus, sind also in gewissem Sinne bereits Keratometer. Aber in vollem Sinne ist die Keratometrie erst durch die Erfindung der Ophthalmometer möglich geworden.

Zur Erfindung der Ophthalmometer wurde der Anstoß gegeben durch den Wunsch, den Krümmungshalbmesser der Hornhaut ausfindig zu machen. Es ist das möglich mittelst der von der Hornhaut gelieferten Spiegelbilder. Die Physik lehrt nämlich, dass eine kugelige Spiegelfläche von einem weit entfernten Gegenstande ein virtuelles, aufrechtes, verkleinertes Bild liefert, das sich sehr nahezu im (virtuellen) Brennpunkte des Spiegels, d. h. um $\frac{r}{2}$ hinter der Spiegelfläche befindet (r = dem Halbmesser der spiegelnden Kugelfläche). Die Größe dieses Bildes und des Gegenstandes selbst verhalten sich zu einander wie ihre Abstände von der spiegelnden Fläche.

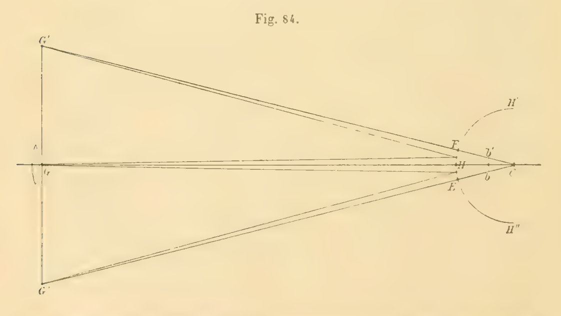
Für den angenommenen Fall ergiebt sich also die Formel:

$$\frac{g}{b} = \frac{a}{r:2} \text{ oder } r = 2\,\frac{b \cdot a}{g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

worin g die Größe des Gegenstandes, a sein Abstand vom Spiegel und b die Bildgröße ist.

Die Anwendbarkeit dieser Formel auf die menschliche Hornhaut hat zur Voraussetzung, dass ihre Oberfläche kugelig gekrümmt sei. Das ist

Fig. 84.



aber, wie sich bereits durch die Keratoskopie ergeben hat, keineswegs in voller Strenge der Fall.

Also hat man die Bestimmung des Krümmungshalbmessers nicht für die Hornhaut schlechthin, sondern für je ein Flächenelement der Hornhaut

vorzunehmen, oder wenigstens für einen so kleinen Abschnitt ihrer Oberfläche, dass Krümmungsunterschiede innerhalb dieses Stückchens ausgeschlossen erscheinen. Nehmen wir an, $H'HH''$ (Fig. 84) sei die Oberfläche der Hornhaut, ihr Halbmesser $CH = 8$ mm; G' und G'' seien zwei leuchtende Punkte mit 1000 mm gegenseitigem Abstand; $GH = 2000$ mm sei der Abstand der Linie $G'G''$ von der Hornhaut; in G befinde sich die Pupille des Beobachters bezw. das Objektiv seines Fernrohres; dann kann der Winkel $GCG' = \beta$ gefunden werden durch die Gleichung

$$\tan g\,\beta = \frac{500}{2000 + 8} = 14^{\circ}.$$

Einem Winkel von 14° entspricht bei 8 mm Halbmesser ein Bogen von

$$\frac{2r \cdot \pi \cdot 14}{360} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 3{,}1415 \cdot 14}{360} = 1{,}955 \text{ mm}.$$

Nun wird aber keineswegs von dem ganzen Bogenstückchen zwischen H und F Licht nach G gespiegelt, sondern nur von einem Punkte, der in der Mitte zwischen H und F liegt, der also von H um $\frac{1{,}955}{2} = 0{,}977$ mm absteht. Berücksichtigt man, dass bei G nicht eine punktförmige Pupille, sondern ein Fernrohrobjektiv von 20 mm Durchmesser steht, so ergiebt sich durch eine einfache Berechnung (vgl. S. 152), dass in 0,977 mm Abstand von H eine kreisförmige Fläche (zu der Ebene des Papieres senkrecht!) von 0,04 mm Durchmesser für den Versuch allein in Betracht kommt. Das Gleiche gilt für ein Flächenelement auf der anderen Seite der Achse GC, in der Mitte zwischen H und E.

Es wäre also denkbar, dass zwischen diesen rund 2 mm voneinander entfernten Flächenelementen eine ganz beliebige Krümmung herrschte, ohne dass es bei diesem Versuche zu bemerken wäre. Eine Ermittlung des Krümmungshalbmessers nach dem eben beschriebenen Plane ist also nur dann zulässig, wenn man sich durch Vorversuche, mindestens durch Betrachtung überzeugt hat, dass in dem fraglichen Gebiete der Hornhaut Krümmungsunterschiede nicht zu befürchten sind.

Die Thatsache, dass ein leuchtender Punkt unter den geschilderten Verhältnissen nur von einem winzigen Stückchen der Hornhautoberfläche aus Licht in das Auge des Beobachters sendet, bringt nun den großen Vorteil mit sich, dass jene eigentlich nur für spiegelnde Kugelflächen gültige Formel auch auf astigmatische Flächen anwendbar wird, indem gleichsam jeder Längenkreis für sich untersucht wird.

Die Anwendbarkeit der Formel

$$r = \frac{2a \cdot b}{g} \qquad \text{1)}$$

auf die Hornhaut hat aber nicht bloß theoretisch ihre Grenzen, sondern hat auch mit einer praktischen Schwierigkeit zu kämpfen.

Während man nämlich die Größe des Gegenstandes (g) und seinen Abstand (a) von der Hornhaut ohne weiteres messen kann, ist das bei dem virtuellen Bilde (b) keineswegs der Fall. Es bedurfte sinnreicher Methoden und kostspieliger Apparate, um diese Aufgabe zu lösen. Der Erste, der sie in Angriff genommen und auch gelöst hat, war KOHLRAUSCH (1). Aber sein Verfahren war viel zu schwerfällig und ungenau. Ein großer Fortschritt bezüglich der Messung von sehr kleinen, virtuellen Objekten wurde dann von HELMHOLTZ (4) durch Erfinden seines Ophthalmometers gemacht. Die Beschreibung seines Ophthalmometers befindet sich in dem vorhergehenden Abschnitte. Hier sei nur des Zusammenhanges halber erwähnt, dass HELMHOLTZ das schon von den Astronomen verwandte Prinzip der Verdoppelung des zu messenden Gegenstandes angewendet hat. Dies Prinzip kehrt bei fast all den später ersonnenen Ophthalmometern wieder; ihm ist es zu danken, dass kleine Bewegungen des zu messenden Gegenstandes der Genauigkeit der Messung keinerlei Eintrag thun.

Selbst das HELMHOLTZ'sche Ophthalmometer war für die praktische Augenheilkunde nicht geeignet. Die augenärztliche Keratometrie konnte erst in Aufnahme kommen, nachdem JAVAL und SCHIÖTZ (17, 18, 19, 31) das HELMHOLTZ'sche Ophthalmometer in einen Apparat umgebaut hatten, der es möglich macht, die praktische Kernfrage der Keratometrie schnell und sicher zu lösen, nämlich den Hornhautastigmatismus in Dioptrien zu messen.

§ 50. Das Ophthalmometer von JAVAL und SCHIÖTZ geht von einer Formel aus, die nicht wie Formel 1, verlangt, dass der Abstand des Objektes von der Spiegelfläche sehr groß ist. Die JAVAL und SCHIÖTZ'sche Formel lautet:

$$r = \frac{2 \cdot l \cdot b}{g} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 2.$$

r, b und g haben die gleiche Bedeutung wie in Formel 1; l bedeutet den Abstand des Objektes von dem virtuellen Brennpunkte der Spiegelfläche[1].

[1] Ableitung der Formel (2): Es sei KHM Fig. 85 die Spiegelfläche, C ihr Mittelpunkt; AN der sich spiegelnde Gegenstand. Der Strahl AD wird, weil parallel der Achse NC, in die Richtung P gespiegelt, als ob er von dem Brennpunkte E herkäme. Der Strahl AH wird, weil er auf den Brennpunkt E zielt, parallel zur Achse NC nach B gespiegelt.

Mithin sind sich die beiden Dreiecke ANE und HKE ähnlich. Folglich

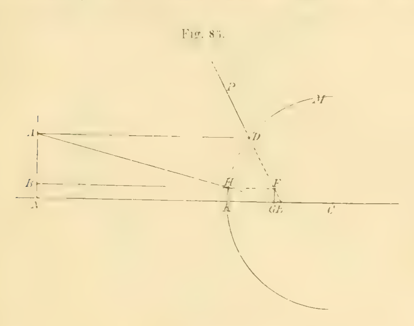
$$\frac{AN}{NE} = \frac{HK}{KE}.$$

Da aber

$$AN = g$$
$$NE = l$$
$$HK = Fg = b$$
$$KE = \frac{r}{2}$$

Nun ist die Einrichtung des Apparates so ausgesonnen, dass dem Abstande des Objektes von der spiegelnden Hornhaut (und damit auch von ihrem virtuellen Brennpunkte, d. i. dem l der Formel 2) eine ganz bestimmte Größe dadurch gegeben werden kann, dass man den ganzen Apparat dem untersuchten Auge nähert, bezw. von ihm entfernt. Ferner wird dem Spiegelbilde, dem b der Formel (2), eine ganz bestimmte Größe (von 2,94 mm) dadurch verschafft, dass man die Größe des Gegenstandes, das g der

Fig. 85.



Formel (2), so lange zu- bezw. abnehmen lässt, bis b genau die vorgeschriebene Größe erlangt hat. Dann liest man die benutzte Objektgröße, das g unserer Formel, ab und hat nun in der Formel (2) nur noch eine unbekannte Größe, nämlich das gesuchte r, dessen Größe durch einfache Ausrechnung leicht zu finden ist.

Dies ist die Generalidee des Apparates. Um sie völlig verständlich zu machen, muss zunächst der Apparat selber genau beschrieben werden. Seine wesentlichsten Bestandteile sind:

1. Ein kreisförmiger Bügel (AA', Fig. 86), dessen Länge sich über etwa 80 Winkelgrade erstreckt. Er trägt zwei helle Flächen B und B', deren gegenseitiger Abstand durch Schraubentrieb vergrößert und verkleinert werden kann. Der Abstand der einander entsprechenden Ränder dieser beiden Flächen ist das g der Formel (2).

ist, so folgt

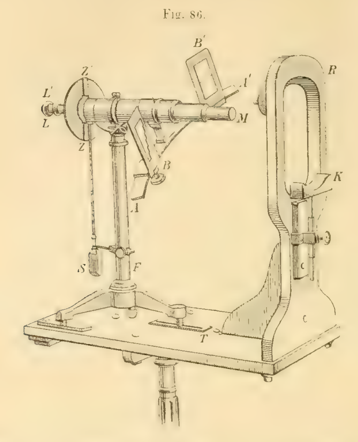
$$\frac{g}{l} = \frac{b}{r:2},$$

also

$$r = \frac{2 \cdot l \cdot b}{g}.$$

2. Ein Fernrohr, durch das die Spiegelbildchen jener beiden hellen Flächen gesehen und zwar **verdoppelt** gesehen werden.

Fig. 86.



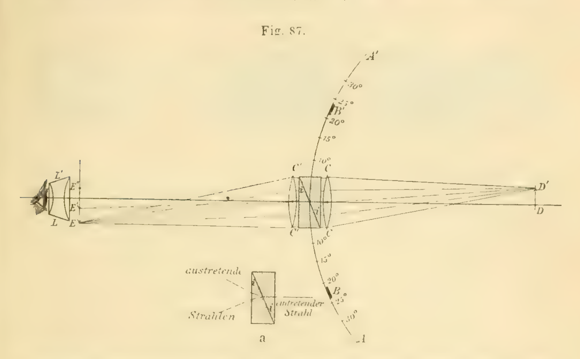
Betrachten wir zunächst die Einrichtung des Fernrohres. Es enthält (Fig. 87)[1] zwei aplanatische Objektivlinsen CC' und $C''C''$, die beide die nämliche Brennweite von 270 mm haben und 40 mm voneinander entfernt sind. Wenn nun das Fernrohr so nahe an die Hornhaut des Untersuchten herangeschoben wird, dass das Hornhautbildchen sich in D, dem Brennpunkte von CC' befindet, dann treten die Strahlen je eines Bündels unter sich parallel aus CC' aus und vereinigen sich 270 mm jenseits von $C''C''$ zu einem Bildpunkte auf der anderen Seite der Achse: mithin entsteht in 270 mm Abstand von $C''C''$ (bei E) ein umgekehrtes, gleichgroßes Bild des Objektes DD'. Dies Bild betrachtet der Beobachter durch die Lupe LL' von 56 D. Brechkraft, sieht es also beträchtlich vergrößert.

Während nun die Lichtstrahlen als Parallelbündel aus dem Objektiv CC' zu dem zweiten $C''C''$ übergehen, durchsetzen sie eine Vorrichtung,

[1] In Fig. 87 haben die Buchstaben dieselbe Bedeutung wie in Fig. 86. Nur ist zu beachten, dass der Kreisbogen AA' Fig. 87 nicht den Bügel AA' Fig. 86 bedeutet, sondern die Bewegungsbahn der Fenster B und B', oder genauer, der schwarzen Halbierungslinie der Fenster, bei B' in Fig. 86 gut sichtbar.

welche Verdoppelung bewirkt, so dass bei E nicht ein, sondern zwei Bilder des Objektes DD' nebeneinander erscheinen. Die Verdoppelung wird durch ein WOLLASTON'sches Prisma zu stande gebracht. Es besteht aus 2 kongruenten rechtwinkligen Kalkspatprismen, die so in den Krystall geschnitten sind, dass beim Zusammenkitten ihrer Hypotenusenflächen ihre optischen Achsen sich senkrecht überkreuzen. Ein Lichtstrahl, der senkrecht auf die Vorderfläche des schraffierten Stückes (Fig. 87) fällt, wird in zwei Strahlen

Fig. 87.



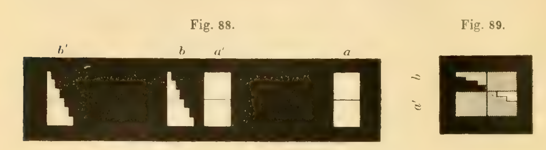
gespalten, die im schraffierten Stück ungleiche Geschwindigkeit, aber noch gleiche Richtung haben, beim Eintritt in das zweite (gepünktelte) Stück aber nach entgegengesetzten Richtungen abgelenkt werden und beim Austritt eine zweite Ablenkung erfahren, und zwar in dem nämlichen Sinne (Fig. 87a). Selbstverständlich ist die Größe der gesamten Ablenkung, mit anderen Worten, die Verdoppelungsgröße von dem Winkel i der Prismen abhängig.

Kehren wir noch einmal zu dem Bügel AA' mit den leuchtenden Objekten B und B' zurück (Fig. 86). Dieser Bügel ist mit dem Fernrohre so verbunden, dass er wohl um das Fernrohr gedreht, aber nicht längs des Fernrohres verschoben werden kann. Bei den Drehungen des Bügels dreht sich das WOLLASTON'sche Prisma im Innern des Fernrohres mit, so dass die Verdoppelung, d. h. die Verschiebung der Bildchen EE' und $E'E''$ (Fig. 87), unter allen Umständen in der jeweiligen Richtung des Bügels vor sich geht.

Die leuchtenden Gegenstände bestehen aus zwei Fenstern von Milchglas, hinter denen eine Acetylenflamme oder eine Glühlampe brennt. Das eine Fenster hat rechteckige Form (Fig. 88a), das andere die Gestalt einer

Treppe (Fig. 88*b*). Die Länge der Fenster ist 60 mm, ihre Breite 30 mm; die Breite jeder Treppenstufe 5 mm. Beide Fenster sind der Quere nach durch eine schwarze Linie halbiert. Denkt man sich diese beiden Halbierungslinien durch eine Bogenlinie von 290 mm Halbmesser verbunden, so erhält man eine Linie, die senkrecht auf der Fernrohrachse steht und durch die Mitte des Wollaston'schen Prismas geht (AA' Fig. 87).

Fig. 88. Fig. 89.



Die Milchgläser können mittelst Schraubentriebes dem Bügel entlang verschoben werden und beschreiben dabei eine Cylinderfläche, die dem betreffenden Längenkreis der untersuchten Hornhaut parallel ist. Die Milchgläser haben also stets den nämlichen Abstand von der untersuchten Hornhaut.

Will man den Apparat benutzen, so setzt man den Kranken dem Fernrohre gegenüber und veranlasst ihn, sein Kinn auf die Kinnstütze K (Fig. 86) zu stützen, andererseits die Stirn fest an den Rahmen R zu lehnen und unverwandt in die Mündung M des Fernrohres zu blicken. Das Fernrohr muss nun dem Kranken so weit genähert werden, dass das Hornhautspiegelbild (DD' Fig. 87) mit dem Brennpunkte des ersten Objektives (CC') zusammenfällt. Zu dem Behufe erinnern wir uns, dass in dem Brennpunkte des zweiten Objektives ($C''C''$) ein Bild (E) erscheint in demselben Augenblicke, wenn das Objekt (D') in den Brennpunkt des ersten Objektives tritt. Der Brennpunkt des zweiten Objektives ist durch einen Faden markiert. Der Beobachter beginnt also damit, sich, d. h. sein Auge, mit Hilfe des Okulares LL' (Fig. 86 und 87) für diesen Faden einzustellen. Erst wenn dies geschehen, richtet er das Fernrohr mit Hilfe der Schraube S (Fig. 86) auf die Hornhaut und schiebt dann den Fuß F des Fernrohres, und damit das Fernrohr selbst samt Bügel mit Milchgläsern auf der Tischplatte T vorwärts und rückwärts, bis er die Bildchen (Fig. 88) scharf sieht. Da er für den Brennpunkt des zweiten Objektives eingestellt ist, so erscheinen ihm diese Bildchen eben nur dann scharf, wenn auch sie genau im Brennpunkte stehen, d. h. wenn das Fernrohr den gewünschten Abstand von der untersuchten Hornhaut, also das l der Formel (2) die vorgeschriebene Größe von 290 mm hat. Der Beobachter sieht nun z. B. das Bild der Fig. 88. Er schließt daraus, dass die Objektgröße, d. h. der gegenseitige Abstand der Milchgläser (das g der Formel 2) zu groß ist, um bei einer Verschiebung

der Fensterbildchen von 2,94 mm[1]) gerade verdoppelt zu erscheinen. Er dreht deshalb an der Schraube B so lange, bis b und a' sich gerade berühren und liest nun die Stellung von B auf dem Bügel AA' ab. Dann dreht man den Bügel AA' um das Fernrohr, so dass die nunmehrige Stellung von AA' mit der vorigen einen Winkel von 90° bildet. Wenn der Bügel zuerst wagerecht stand, steht er also jetzt senkrecht. Bei den meisten Augen findet man nun, dass die Bildchen b und a' sich ein wenig übereinander geschoben haben, wie in Fig. 89 zu sehen ist. Man dreht deshalb die Schraube B wieder zurück, bis wieder genaue Berührung der mittleren Bildchen (b und a') hergestellt ist. Die neue Stellung von B wird nun am Bügel AA' abgelesen; der Unterschied der beiden Ablesungen in Bogengraden ist der Astigmatismus des spiegelnden Hornhautstückchens in Dioptrien.

Ja die Einrichtung mit den Treppenstufen erlaubt es sogar, mit zwei Einstellungen, aber einer einzigen Ablesung, den vorhandenen Hornhautastigmatismus zu messen. Es sei die erste Einstellung für den Längenkreis schwächster Brechung gemacht worden; nun dreht man den Bügel um 90°, d. h. in den Längenkreis stärkster Brechung; dann verwandelt sich die Berührung der zwei mittleren Bildchen in teilweise Deckung; jede in das Rechteck hineinragende Treppenstufe bedeutet eine Dioptrie Astigmatismus des spiegelnden Hornhautstückes.

Die einfache Beziehung zwischen Brechkraft der Hornhaut und der Bogenlänge eines Winkelgrades an dem Bügel ist ein Hauptvorteil des JAVAL-SCHIÖTZ'schen Apparates und beruht auf einer sinnreichen mathematischen Berechnung, deren Leitgedanke folgender ist:

In der Formel

$$r = \frac{2 \cdot l \cdot b}{g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

muss zunächst das r in Dioptrien ausgedrückt werden. Die Brechkraft einer Linse in Dioptrien ist gleich $\frac{1}{r}$ in Metern oder in 1000 mm. Die Hornhaut lässt sich nun nicht ohne weiteres mit einer gewöhnlichen Linse vergleichen, denn sie hat zwei Brennweiten, eine vordere $= \frac{r}{n-1}$ und eine hintere $= \frac{n \cdot r}{n-1}$, wo r der Krümmungsradius der Hornhautoberfläche in Millimetern und n der Brechungsexponent der Hornhaut $= 1,3375$ ist. Der Unterschied beider Brennweiten ist gleich dem Krümmungsradius:

$$\frac{n \cdot r}{n-1} - \frac{r}{n-1} = r.$$

1) Über die Bedeutung dieser Zahl weiter unten.

d. h. der hintere Brennpunkt der Hornhaut liegt ebensoviele Millimeter hinter ihrem Krümmungsmittelpunkte, als der vordere vor der Hornhautoberfläche.

Wollen wir die Hornhaut durch eine Linse ersetzen, die vorn und hinten von Luft umgeben ist, dann muss diese Linse im Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut stehen und eine Brennweite gleich der vorderen Brennweite der Hornhaut $\left(\frac{r}{n-1}\right)$ haben[1]. Die Brechkraft x dieser Linse, in Dioptrien ausgedrückt, würde nun sein:

$$x = \frac{n-1}{r} \cdot 1000 = \frac{0{,}3375}{r} \cdot 1000 = \frac{337{,}5}{r} \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Also

$$r = \frac{337{,}5}{x}.$$

Setzen wir diesen Wert von r in die Formel 2, S. 163 ein, so verwandelt sie sich in

$$g = \frac{2 \cdot l \cdot b}{337{,}5} \cdot x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

Für das Keratometer sollen l und b ein für allemal dieselbe Größe behalten, g und x dagegen variabel sein. Wir wollen nun dem g eine Größe geben, dass $x = 1$ wird, also

$$g' = \frac{2 \cdot l \cdot b}{337{,}5} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (5)$$

Andererseits soll dies g' die Bogenlänge eines Winkelgrades haben vom Krümmungshalbmesser l. Diese Forderung ist erfüllt, wenn

$$g' = \frac{2 \cdot l \cdot \pi}{360} \text{ ist} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

Aus Formel (5) und (6) ergiebt sich dann

$$\frac{b}{337{,}5} = \frac{\pi}{360} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (7)$$

$$b = \frac{337{,}5}{360} \cdot \pi = \frac{337{,}5}{360}\, 3{,}1415 = 2{,}94.$$

In Worten, man muss den brechenden Winkel i des Wollaston-schen Prismas so wählen, dass der gegenseitige Abstand der beiden Bildchen ein und desselben Fensters 2,94 mm beträgt; dann bedeutet jeder Winkelgrad gegenseitigen Abstandes der Fenster selbst, den man braucht, um Berührung der benachbarten Bildchen des rechteckigen und des treppenförmigen Fensters hervorzubringen, eine Dioptrie Brechkraft des spiegelnden Hornhautstückchens.

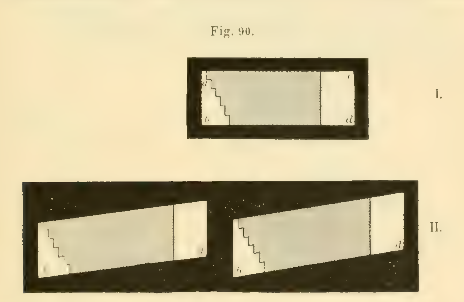
---

1) Freilich besteht die Gleichheit der Wirkung der gedachten Glaslinse und der Hornhaut nur gegenüber von unendlich fernen Objekten (Ostwalt 68).

Die Beziehung zwischen dem brechenden Winkel des Wollaston'schen Prismas und dem Betrage der Verschiebung ist in Lehrbüchern der Physik nachzuschlagen, z. B. Pfaundler, II, S. 1013 u. ff.

Nicht immer zeigen sich dem Beobachter die vier Bildchen so wie sie in Fig. 88 dargestellt sind, d. h. so, dass die Grundlinien der Treppen und der beiden Rechtecke in eine gerade Linie fallen. Es kommt vielmehr gar nicht selten vor, dass sich die Bildchen wie in Fig. 90, II zeigen, dass sie, wie der Kunstausdruck lautet, denivelliert stehen. Es ist dies allemal der Fall, wenn die Hornhaut astigmatisch ist und der Bügel mit den Milchgläsern nicht in der Ebene eines der Hauptlängenkreise steht. Um sich das Zustandekommen dieser Denivellierung klar zu machen, erinnere man sich daran (S. 153), dass das von einer astigmatischen Hornhaut gelieferte Spiegelbild verzogen erscheint in der Richtung des Längenkreises schwächster

Fig. 90.



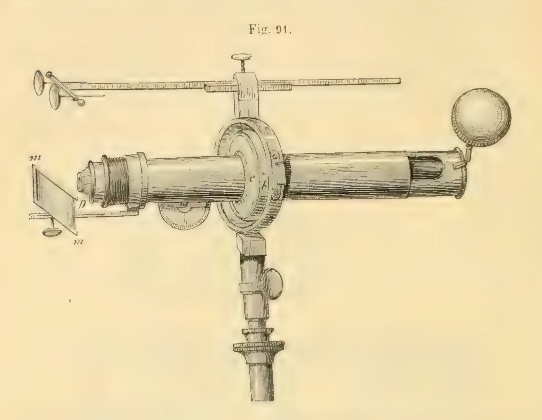
Brechung. Wenn also das Rechteck *abde* (Fig. 90, I) das von einer kugeligen Hornhaut gelieferte Bild ist, dann muss eine astigmatische Hornhaut, deren flachster Längenkreis von links unten nach rechts oben geht, das Bild Fig. 90, II liefern. Nun erfolgt aber die Verdoppelung unabhängig von den Längenkreisen der Hornhaut stets in der Richtung des Bügels. Also wird bei wagerechter Stellung des Bügels mit seinen Milchgläsern der Punkt *b* wagerecht nach rechts verschoben, ebenso der Punkt *d*. Wenn also das *b* des einen Bildes und das *d* des anderen nebeneinander zu stehen kommen, so muss sich derselbe Höhenunterschied zeigen, der zwischen den Punkten *b* und *d* ein und desselben Bildchens vorhanden ist.

Die Denivellierung verschwindet sofort, wenn man den Bügel in eine Stellung dreht, die mit der Richtung eines der Hauptlängenkreise übereinstimmt. Das Keratometer ist also ein Mittel, die Hauptlängenkreise der

astigmatischen Hornhaut ausfindig zu machen. Zum Ablesen derjenigen Stellung des Bügels, bei der die Bildchen nivelliert stehen, dient das Zifferblatt ZZ' (Fig. 86), das eine Kreisteilung von 5° zu 5° trägt.

Die Beschreibung des Javal-Schiötz'schen Keratometers habe ich so ausführlich gestaltet, als der Rahmen dieses Handbuches erlaubte, weil es

Fig. 91.



von allen Keratometern weitaus am meisten praktische Verwendung gefunden hat. Es giebt aber, wie der Leser aus den vorhergehenden Paragraphen ersehen hat, noch eine Reihe anderer Ophthalmo-, bezw. Keratometer, die ebenfalls zur Messung des Hornhautastigmatismus benutzt werden können. Ohne Zweifel werden sie für die ärztliche Hornhautmessung von ausreichender Genauigkeit sein. Die wichtigsten derselben sollen kurz beschrieben werden.

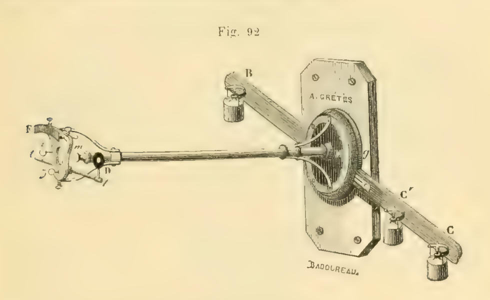
§ 51. Mandelstamm und Schöler (7) haben zur Keratometrie ein Hornhautmikroskop benutzt, das mit einem Mikrometer versehen ist (Fig. 91). Damit messen sie unmittelbar den Abstand zweier Hornhautreflexe, d. h. das b der Formel (1).

Da das Mikroskop und der Kopf des Beobachters dem Untersuchten stark genähert werden müssen und also den Lichtstrahlen im Wege sind, die von einem vor dem Untersuchten befindlichen Gegenstande herkommen, so wird der sich spiegelnde Gegenstand eine Flamme neben

dem Untersuchten aufgestellt und ihr Licht auf die Hornhaut gelenkt durch eine Glasplatte *mm*, die in passender Weise mit dem Objektiv *D* des Mikroskopes verbunden ist.

Das Ophthalmometer von LANDOLT (17). Im Jahre 1878 hat E. LANDOLT, nach dem Prinzipe seines Diplometers (12) einen Apparat zur Ophthalmometrie konstruiert. Der Hauptteil besteht aus zwei übereinander stehenden Glasprismen, die mit ihren Kanten nach entgegengesetzten Richtungen sehen. Der Beobachter blickt durch dieselben so, dass die Berührungsebene der beiden Prismen seine Pupille halbiert. Er sieht also doppelt, und zwar nimmt der Abstand zwischen den Doppelbildern zu und ab mit der Stärke der Prismen und der Entfernung des Objektes, wie (S. 143) des weiteren auseinandergesetzt worden ist.

Fig. 92



Für die in LANDOLT's Instrument (Fig. 92 und 93) verwendeten Prismen entsprach eine Exkursion von 40 mm einem Durchmesser des Objektes von 1 mm, so dass die Genauigkeit der Beobachtung mindestens $\frac{1\text{mm}}{20}$ betrug. Um noch größere Genauigkeit zu erhalten, wählt man schwächere Prismen.

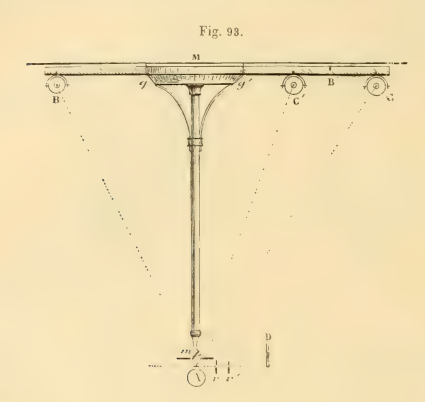
LANDOLT's Instrument besteht in einer an der Mauer befestigten, in Meridiane geteilten Scheibe *M* (Fig. 93). Um den Mittelpunkt derselben lässt sich eine Stange drehen, an welcher drei Lämpchen (*B*, *C''* und *C*) nach Art der HELMHOLTZ'schen befestigt sind. Sie bilden das Objekt, dessen von der Hornhaut geliefertes Reflexbild zu messen ist. Die Entfernung $MB = MB' = 50$ cm. Das Objekt BB' also $= 1$ m. Vom Mittelpunkte *M* der Scheibe geht ein fester Metallstab aus, der in *F* (Fig. 92) eine Stütze für die Stirne, in *i* eine Stütze für die Wange des zu Untersuchenden trägt. Diese Stützen können so gestellt werden, dass der zu beobachtende

Teil des Auges A (Fig. 93) genau 1 m von M entfernt ist. Zur Kontrolle dienen die zwei Visiere v und v' (Fig. 92 und 93).

Das Ende m (Fig. 93) des Stabes ist unter einem Winkel von 45° abgeschnitten und trägt dort einen Metallspiegel. Er reflektiert das untersuchte Auge A rechtwinklig gegen D hin, wo sich die Prismenkombination befindet. Sie lässt sich auf dem eingeteilten Stabe tt' (Fig. 92) verschieben.

Der die Lichter tragende Balken sowohl wie die Trennungslinie der Prismen werden selbstverständlich in den Meridian gebracht, in welchem die Messung vorgenommen werden soll.

Fig. 93.

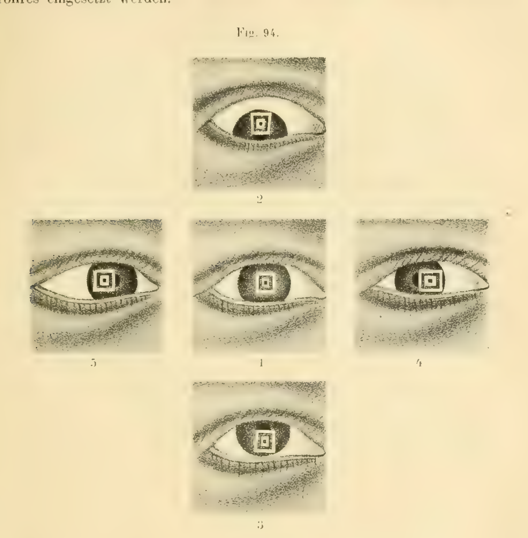


Wie man sieht, hat Landolt die Entfernung des Objektes dem Durchmesser desselben gleich gemacht: $MA = BB' = 1$ m. Dadurch wird die Berechnung des Radius der beobachteten Krümmung äußerst einfach. Er ist doppelt so groß wie das beobachtete Bild. Denn wenn in Formel 1 (S. 156) $a = g$ wird, d. h. der Abstand des Objektes vom Spiegel gleich der Größe des Objektes, dann wird $r = 2b$, d. h. der Krümmungsradius des Spiegels gleich dem doppelten der Bildgröße.

Das Reid'sche Ophthalmometer (54 und 56) ist gleichsam eine Taschenausgabe des Javal-Schiötz'schen. Der wesentlichste Unterschied zwischen den beiden besteht darin, dass Reid den sich spiegelnden Gegenstand in einer seitlichen Öffnung des Fernrohres anbringt. Das Licht

dieses Gegenstandes wird dann durch ein im Fernrohre enthaltenes total reflektierendes Prisma auf die Hornhaut gelenkt. — Die Änderung der Größe des Gegenstandes wird dadurch bewerkstelligt, dass größere oder kleinere Scheiben, je nach Bedürfnis, in die seitliche Öffnung des Fernrohres eingesetzt werden.

Fig. 94.



Bezüglich des Blix'schen (16) Ophthalmometers muss ich auf die Urschrift verweisen, die in schwedischer Sprache erschienen und mir deshalb unzugänglich ist.

Das Ophthalmometer von Leroy und Dubois (34, 35 und 36) weicht nur wenig von seinem Vorbilde, dem Helmholtz'schen, ab. Die Verdoppelung wird durch ein unbewegliches, planparalleles Plattenpaar erzeugt. Die Einstellung erfolgt also nicht durch Drehung der Platten, sondern durch Änderung der Größe des gespiegelten Gegenstandes, d. h. des gegenseitigen Abstandes zweier Lichtpunkte. Auch benutzen Leroy und

Dubois zur Berechnung der Größe des Spiegelbildes eine andere Formel wie Helmholtz.

Für wissenschaftliche Fragen kann ein Umstand störend werden, der bei all den erwähnten Apparaten in gleicher Weise wiederkehrt, das ist das Nacheinander zweier Messungen. Gullstrand (64) hat mit Recht darauf aufmerksam gemacht, dass man unmöglich für ein vollkommenes Ruhigstehen des Auges bürgen kann während der Zeit, die zwischen der ersten und zweiten Ablesung verstreicht. Er hat deshalb für wissenschaftliche Hornhautmessungen ein Verfahren ersonnen, das es möglich macht, die Krümmung mehrerer Hornhautelemente aus dem Ergebnis einer einzigen Einstellung zu berechnen. Dies Verfahren besteht darin, einen passenden Gegenstand vor der Hornhaut aufzustellen und die Iris und Pupille mit samt dem Spiegelbilde jenes Gegenstandes zu photographieren, das Photogramm mit Hilfe eines Mikroskopes mikrometrisch auszumessen und die gefundenen Maße rechnerisch zu verwerten. Es würde die Grenzen dieses Buches weit überschreiten, wollte ich die technischen Schwierigkeiten der Gullstrand'schen Keratophotographie und seine keratometrischen Berechnungen wiedergeben. Dagegen kann der Leser in die Erfolge Gullstrand's sehr leicht Einblick gewinnen durch Betrachtung einer der Gullstrand'schen Tafeln (Fig. 94). Zu ihrem Verständnis sei bemerkt, dass es sich um ein rechtes Auge handelt, dessen Spiegelbilder in 5 verschiedenen Stellungen aufgenommen worden sind. Das mittelste Bild zeigt die weißen Quadrate in der Hornhautmitte, d. h. bei Blick des Untersuchten in der Richtung der Achse des photographischen Apparates, Bild 2 bei Blick nach unten, Bild 3 bei Blick nach oben, Bild 4 bei schläfenwärts, Bild 5 bei nasenwärts gerichtetem Blick. Der Winkel, den die Gesichtslinie in den Stellungen 2, 3, 4 und 5 mit ihrer Richtung bei Stellung 1 macht, beträgt je 29° 14′ 20″.

III.

§ 52. Ergebnisse der Keratometrie. Schon im Jahre 1723 hat Petit die Form der menschlichen Hornhaut untersucht und gefunden, dass die Hornhautkrümmung von der Mitte gegen den Rand zu flacher wird. Spätere Forscher, Young, Kohlrausch, Senff, Helmholtz, Donders, Mauthner u. a. haben mit vollkommeneren Methoden die Messungen Petit's wiederholt. Man kann sagen, dass bis zur Erfindung der neueren Ophthalmobezw. Keratometer der Satz galt: Die normale Hornhaut ist ein Stück eines Rotationsellipsoides, dessen lange Achse mit der Gesichtslinie zusammenfällt und Rotationsachse ist; die astigmatische Hornhaut ist ein Stück eines dreiachsigen Ellipsoides, dessen lange Achse mit der Gesichtslinie zusammenfällt. Die Messungen der Hornhaut mit den vervollkommneten Hilfsmitteln der Neuzeit haben nun aber gezeigt, dass die Sache doch bei

weitem nicht so einfach liegt, und dass selbst innerhalb der Grenzen des Normalen mannigfache und optisch bedeutungsvolle Abweichungen von dem Ellipsoid vorkommen, ja geradezu die Regel bilden.

Denkt man sich die Hornhaut durch eine senkrechte und eine wagerechte Ebene halbiert, so schneiden diese Ebenen die Hornhautoberfläche in zwei Kurven, die einen Punkt C gemein haben. Von diesem Punkte C wäre zu erwarten, dass er

1. Hornhautscheitel sei;
2. Schnittpunkt der Gesichtslinie mit der Hornhautoberfläche;
3. Schnittpunkt eines Perpendikels mit der Hornhautoberfläche, das im Mittelpunkt der Pupillenebene errichtet ist.

Alles das ist nicht der Fall, wenigstens nicht genau.

Über die Lage des Hornhautscheitels lässt sich sicheres nicht sagen. Manche Schriftsteller erklären ihn für »decentriert nach außen«, weil die Abflachung der Hornhaut nach der Nase zu stärker sei als nach der Schläfe. Dieser Schluss scheint mir keineswegs zwingend, wenigstens so lange nicht, als die Begriffsbestimmung des Hornhautscheitels nicht bei allen Schriftstellern dieselbe ist.

Denkt man sich durch die Grenze von Hornhaut und Lederhaut eine Ebene gelegt; denkt man sich vor dem Auge eine zweite Ebene, die zu jener ersten parallel steht und die Hornhautoberfläche in einem Punkte berührt, dann ist der berührte Punkt »Hornhautscheitel«. Aber leider ist diese Begriffsbestimmung in voller Strenge nicht anwendbar, weil die Grenzlinie zwischen Hornhaut und Lederhaut gar nicht genau in einer Ebene verläuft.

Besser unterrichtet sind wir über die Lage der Gesichtslinie. Sie schneidet die Hornhautoberfläche nicht im Punkte C, sondern in der Regel einwärts davon. Die Hornhaut ist dann bezüglich der Gesichtslinie »decentriert nach außen«. Der Grund dieser Thatsache ist die Lage der Fovea centralis; die Fovea liegt bekanntlich nach außen von dem geometrischen hinteren Augenpole; die anatomische Augenachse und die physiologische fallen eben nicht genau zusammen.

Die Decentration der Hornhaut nach außen ist an dem mittelsten Bilde der Fig. 94 deutlich zu erkennen, ebenso durch Vergleich von 4 und 5. In dem mittelsten Bilde steht nämlich das große Quadrat dem inneren Hornhautrande deutlich näher als dem äußeren, und dem oberen eine Spur näher als dem unteren; außer der Decentration nach außen besteht also auch eine leichte Decentration nach unten, weil die Fovea eine Spur unterhalb des wagerechten Längenkreises liegt. Bei Blick nach außen erreicht das äußere Quadrat gerade die Hornhautgrenze, 4, während bei Drehung des Auges um genau ebensoviele Winkelgrade nach innen, 5, das Reflexbildchen noch 1 bis 2 mm von der Hornhautgrenze absteht.

Endlich kann auch die Pupille verschoben sein, und zwar nach jeder Richtung der Frontalebene. So zeigt z. B. das Bild 3 der Fig. 94, dass die Pupille dem inneren Hornhautrande etwas näher steht als dem äußeren, und Bild 5 zeigt, dass die Pupille dem oberen Rande der Hornhaut näher steht als dem unteren. Sie ist also bezüglich der Hornhaut nach innen und oben decentriert. Gerade umgekehrt verhält es sich aber, wenn wir von der Voraussetzung ausgehen, dass die Pupille von Rechts wegen die Gesichtslinie symmetrisch umgiebt, also zu den Hornhautspiegelbildern symmetrisch stehen sollte. Sieht man daraufhin Bild 3 der Fig. 94 an, so erkennt man eine leichte Decentration der Pupille nach außen.

Es ist einleuchtend, dass diese mannigfachen »Decentrationen« nicht ohne Bedeutung sind, da es von ihnen einerseits, von der Pupillengröße andererseits abhängt, welches Stück der Hornhaut zur »optischen Zone« wird, d. h. die Lichtstrahlen durchlässt, die das Netzhautbild erzeugen. Da bereits oben erwähnt wurde, dass die Randteile der Hornhautoberfläche bei weitem nicht so regelmäßig gekrümmt sind wie die mittleren, so müssen die optischen Verhältnisse sich am ungünstigsten gestalten, wenn Gesichtslinie und Pupille in der gleichen Richtung verschoben sind; und umgekehrt ist es günstig, wenn Gesichtslinie und Pupille gar nicht oder wenigstens in entgegengesetzter Richtung verschoben sind; die optische Zone kommt hierdurch möglichst central zu liegen.

Wenn sich die Verlagerung der Pupille und der Gesichtslinie in den gewöhnlichen Grenzen hält und die Pupille nicht mehr als 3 mm Durchmesser hat, dann darf die optische Zone der Hornhaut als kugelig betrachtet werden. Kugelige brechende Flächen bewirken aber bekanntlich »sphärische Aberration«. Bei enger Pupille kann die Aberration ganz außer acht gelassen werden. Sobald sich die Pupille erweitert, ist das nicht mehr der Fall. Nun wissen wir aber, dass die Randzone der Hornhaut flacher gekrümmt ist als die Mitte (vgl. die Größe des inneren Quadrates bei Bild 1 mit der bei Bild 3, 4 und 5, Fig. 94), und wir dürfen also schließen, dass die Abflachung der Randzone zur Ausgleichung oder wenigstens Verminderung der sphärischen Aberration dient. Wenn trotzdem bei Erweiterung der Pupille die Sehschärfe fast immer abnimmt, so hat dies seinen Grund in der Thatsache, dass die Abflachung der Hornhaut asymmetrisch (LEROY 38), oder wie SULZER 51) sagt, »dissymmetrisch« verläuft, d. h. dass die Abflachung im wagerechten Längenkreise nach der Nase zu stärker ist, als nach der Schläfe (vgl. die Breite des inneren Quadrates in Bild 4 mit dem entsprechenden in Bild 5, Fig. 94); ferner dass die Abflachung im senkrechten Längenkreis steiler verläuft als im wagerechten. Dazu kommt, dass die einzelnen Stückchen der Randzone nicht bloß andere Krümmungshalbmesser haben wie die Hornhautmitte, ja überhaupt nicht kugelig, sondern astigmatisch gekrümmt sind; und zwar kann der

Astigmatismus der einzelnen Stückchen sowohl der Größe, als der Art nach verschieden sein. So beweisen z. B. die Bildchen 4 und 5 der Fig. 94, dass in dem inneren und äußeren Teile der Hornhaut Astigmatismus vorhanden ist mit senkrechten und wagerechten Hauptlängenkreisen; das Bildchen 2 dagegen, dass in dem oberen Abschnitte Astigmatismus mit schrägen Hauptlängenkreisen vorhanden ist. Auch das Bildchen 3 ist ein wenig schief verzogen, wenn auch weniger als Bild 2.

Den größten Gewinn hat die Praxis aus der Keratometrie gezogen. Durch Keratometrie werden jetzt viele Fälle von Astigmatismus erkannt, die man früher übersehen hat, weil der Astigmatismus zu klein, oder auch umgekehrt, weil er zu groß war. Seit man die Keratometrie besitzt, sind Massenuntersuchungen über die Form der Hornhaut möglich geworden, durch die man eine Fülle belangreicher Thatsachen über den Hornhautastigmatismus gefunden hat. Sie können hier nicht weiter besprochen werden, da wir hier eigentlich nur die Methode zu beschreiben und mit anderen Methoden der Astigmatismusbestimmung zu vergleichen haben.

Wenn wir einen Kranken mit dem Javal-Schiötz'schen Keratometer untersuchen, wissen wir sehr bald, ob Hornhautastigmatismus vorhanden ist, und wenn ja, wie die Hauptlängenkreise gerichtet sind und um wieviel Dioptrien Brechkraft sie sich voneinander unterscheiden. Daraufhin kann man aber den Kranken eine Brille noch nicht verschreiben. Denn bekanntlich stimmt der Astigmatismus der Hornhaut mit dem des Auges keineswegs bei allen Kranken überein[1].

Die Thatsache ist sicher, ihre Erklärung noch strittig. Viele nehmen an, dass der Hornhautastigmatismus durch einen Linsenastigmatismus vermehrt, vermindert oder ausgeglichen werden kann. Andere, so z. B. Sulzer (51), sind der Ansicht, dass die Dissymmetrie der Hornhaut zur Erklärung dieser Thatsache und noch einiger anderer ausreiche, so der ungleichen Sehschärfen bei ganz normalen Augen, der ungenügenden Verbesserung der Sehschärfe durch Cylindergläser bei astigmatischen Augen, der verschiedenen Cylindergläser, die der Astigmatiker vor und nach der Atropinisierung wählt.

1) Laqueur (26) fand zwischen Astigmatismus oculi und Astigmatismus corneae keinen Unterschied bei einem Drittel seiner 47 Kranken; bei einem zweiten Drittel fand er Unterschiede von 0,5 D., bei dem letzten Drittel Unterschiede von mehr als 0,5 D.

Pfalz (28) fand bei der Hälfte seiner 183 Astigmatiker keinen Unterschied, bei einem Viertel Unterschiede bis zu 0,5 D. und nur beim letzten Viertel mehr als 0,5 D.

Swan M. Burnett (29) fand bei 462 astigmatischen Augen nur 36mal Unterschiede von mehr als 0,5 D.

G. J. Bull (32) fand bei mehr als 500 Augen in etwa der Hälfte der Fälle den Unterschied $\leqq$ 0,5 D.

Nach meinen eigenen Erfahrungen ist der subjektiv bestimmte Astigmatismus oculi fast immer kleiner als der keratometrisch gefundene Astigmatismus corneae

Aber selbst wenn der Hornhautastigmatismus und der Astigmatismus des ganzen Auges genau gleich sind, so bleibt zu berücksichtigen, dass die Brille nicht auf die Hornhaut, sondern mehr oder weniger weit vor die Hornhaut zu stehen kommt, dass also ein keratometrisch gefundener Astigmatismus von *n* D. durch eine Brille auszugleichen ist, die bei Astigmatismus hypermetropicus weniger, bei Astigmatismus myopicus mehr als *n* D. Brechkraft besitzt (Ostwalt 68). Unwesentlich wird dieser Umstand nur bei sehr geringen Graden von Astigmatismus oder falls es thunlich wäre, das Brillenglas ganz dicht vor die Hornhaut zu setzen.

Wir brauchen also eine zweite objektive Untersuchungsart, die uns über die Lage des Fernpunktes, bezw. bei Astigmatismus über die Lage der Fernpunkte Auskunft giebt. Es ist das die Schattenprobe (Skiaskopie). Angenommen die Schattenprobe bestätigt den keratometrischen Befund bezüglich des Astigmatismus und ergänzt ihn dahin, dass wir jetzt außer dem Astigmatismus auch die sphärische Refraktion kennen, so sind wir noch immer nicht im stande die Brille zu verschreiben, weil der Kranke gar nicht selten die Cylindergläser verwirft, die seinem objektiv festgestellten Astigmatismus entsprechen. Für die rein praktische Frage, welche Brille zu verordnen ist, bleibt also die subjektive Refraktionsbestimmung unter allen Umständen nötig und entscheidend.

Man könnte deshalb meinen, dass die objektiven Untersuchungen überhaupt überflüssig seien. Allein das wäre ein großer Irrtum. Gerade bei der subjektiven Messung des Astigmatismus machen die Kranken so widerspruchsvolle Angaben, dass man in vielen Fällen gar nicht zum Ziele käme, wenn der Weg nicht durch eine vorausgeschickte objektive Refraktionsbestimmung vorgezeichnet wäre.

Aber dann braucht man wenigstens die Keratometrie nicht, da ja durch die Schattenprobe nicht bloß die sphärische Refraktion, sondern auch der Astigmatismus, und zwar der Astigmatismus des Auges, nicht bloß der Astigmatismus der Hornhaut, gemessen wird? Dieser Ansicht bin ich früher wirklich gewesen und auch jetzt noch mache ich die meisten Refraktionsbestimmungen ohne Keratometrie. Trotzdem möchte ich die Keratometrie nicht mehr missen. Sie ist mindestens eine wertvolle Ergänzung der Schattenprobe und wird von mir stets zu Hilfe genommen, wenn Schattenprobe und Leseprobe nicht gleich im ersten Anlaufe ein übereinstimmendes Ergebnis mit normaler Sehschärfe liefern.

Die Schattenprobe hat den Vorzug, von dem Untersuchten nicht viel Entgegenkommen und Mitarbeit zu verlangen; er darf den Kopf bewegen und die Augen drehen, während eine keratometrische Untersuchung ganz unmöglich ist, wenn Kopfstellung und Blickrichtung des Kranken zwischen den beiden Ablesungen nicht völlig unverändert bleiben. Deshalb macht die Keratometrie bei Kindern oft große Schwierigkeiten.

Andererseits verlangt die Schattenprobe eine mittelweite oder wenigstens nicht geradezu enge Pupille, ferner das Fehlen von centralen Trübungen der Hornhaut, Linse und des Glaskörpers; während für die Keratometrie selbstverständlich Pupillengröße, Linsen- und Glaskörpertrübungen gar nicht in Betracht kommen; und Hornhauttrübungen stören die Keratometrie nur dann, wenn auch die Form der Hornhautoberfläche verändert ist, was nach meinen Erfahrungen bei einigermaßen erheblichen Hornhauttrübungen allerdings stets der Fall ist.

Am stärksten zeigt sich die Keratometrie der Schattenprobe überlegen beim Bestimmen der Hauptlängenkreise. Wenn es auch für einen geübten Skiaskopiker nicht schwer ist, die Stellung der Hauptlängenkreise zu sehen, so ist er für das Angeben dieser Stellung in Winkelgraden durchaus auf Schätzung angewiesen[1]. Eine solche Schätzung genügt aber nicht als Richtschnur für die Stellung des Brillenglases. Es muss also die subjektive Gläserprobe und ein Brillengestell mit Kreisteilung zu Hilfe genommen werden, um aus den Angaben der Kranken die Stellung der Hauptlängenkreise zu finden. Nun sind aber die Angaben der Kranken oft ungenau. Besonders bei Astigmatismus geringen Grades, bis zu 1 D., ist der Kranke meist nicht im stande, einen Unterschied der Deutlichkeit an den Probebuchstaben zu bemerken, wenn man das Glas um 5° oder auch um 10° aus der richtigen Lage herausdreht. Trotz Schatten- und Leseprobe kann also die Genauigkeit bezüglich der Hauptlängenkreise zu wünschen übrig lassen.

Bei Anwendung des Keratometers ist das anders. Durch genaue Nivellierung der Bildchen (Fig. 88) kann man den Bügel *AA* (Fig. 86) genau in die Richtung des einen der Hauptlängenkreise bringen und diese Richtung an dem Zifferblatt *ZZ'* ablesen. Dies Zifferblatt ist von 5° zu 5° eingeteilt, erlaubt also Schätzungen bis zu mindestens 2°. Die keratometrische Bestimmung der Hauptlängenkreise übertrifft also unter Umständen sogar die subjektive an Genauigkeit.

Zuweilen wird man durch ungleiche Größe und durch ungleiche Verzerrung der Treppe und des Rechteckes (*b* und *a'* Fig. 88) darauf aufmerksam gemacht, dass die beiden spiegelnden Hornhautstückchen nicht die nämliche Krümmung haben. Damit sind wir dann zu dem Punkte gelangt, wo die Keratometrie aufhört, bezw. wieder zur bloßen Keratoskopie herabsinkt. Denn wenn die beiden Bildchen, die Treppe und das Rechteck (Fig. 88), ungleicher Größe oder Form sind, dann kann von ihrer Nivellierung und somit von Astigmatismusmessung nicht mehr die Rede sein.

---

1) Mit dem Wolff'schen Skiaskop (74) soll übrigens auch die messende Ermittlung der Hauptlängenkreise möglich sein.

Litteratur.

Keratoskopie und Keratometrie.

1836. 1. Kohlrausch, Über die Messung des Radius der Vorderfläche der Hornhaut am lebenden menschlichen Auge. Oken's Isis. S. 886.

1865. 2. Mandelstamm, E., Zur Ophthalmometrie. Arch. f. Ophth. XI, 2. S. 259.

3. Rosow, B., Zur Ophthalmometrie. Arch. f. Ophth. XI, 2. S. 129.

1867. 4. v. Helmholtz, H., Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig. S. 8.

1869. 5. v. Reuss u. M. Woinow, Ophthalmometrische Studien. Wien.

1872. 6. Woinow, M., Ophthalmometrische Messungen an Kinderaugen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 280.

7. Mandelstamm, L., u. Schöler, Eine neue Methode zur Bestimmung der optischen Konstanten des Auges. Arch. f. Ophth. XVIII. S. 155.

8. Coccius, Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge. Leipzig.

1873. 9. v. Reuss, Ophthalmometrische Messungen bei Keratoconus. Wiener med. Presse.

1874. 10. Snellen u. Landolt, Ophthalmometrie. Handbuch d. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl. III. S. 204.

11. Reich, M., Resultate einiger ophthalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen. Arch. f. Ophth. XX, 1. S. 207.

12. Landolt, E., Le diplomètre. Acad. des Sc. de Paris. 7. Febr.

1877. 13. v. Reuss, Untersuchungen über die optischen Konstanten ametropischer Augen. Arch. f. Ophth. XXIII, 4. S. 183.

1878. 14. Landolt, E., L'ophtalmomètre. Internat. Kongr. zu Genf. Compt. rend. et mém. S. 772.

1880. 15. Blix, M., Oftalmometriska Studier. Upsala.

16. Landolt, E., Traité complet d'ophtalmologie par L. de Wecker et E. Landolt. Paris. I. S. 770. Ebenda findet man noch weitere einschlägige Fachschriften.)

17. Javal, Un ophtalmomètre. Présentation fait au congr. opht. internat. de Milan. IX, 1.

1881. 18. Javal et Schiötz, Un ophtalmomètre pratique. Ann. d'Ocul. LXXXIV. S. 5.

1882. 19. Javal, Contribution à l'ophtalmométrie. Ann. d'Ocul. LXXXVII. S. 213; LXXXVIII. S. 33; LXXXIX. S. 5 u. XC. S. 105.

20. Placido, Keratoskop. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 30.

21. Javal, Keratoskop. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 122.

22. Berger, Zur Diagnostik der Krümmungsanomalien der Hornhaut mit dem Keratoskop. Berliner klin. Wochenschr. S. 762.

23. de Wecker et Masselon, Astigmomètre. Ann. d'Ocul. LXXXVIII. S. 44.

1882. 24. de Wecker et Masselon, Modification apportée à l'astigmomètre. Ann. d'Ocul. LXXXIX. S. 138.

25. de Wecker et Masselon, La kératoskopie clinique. Ann. d'Ocul. XC. S. 165.

26. Laqueur, Ophthalmometrische Untersuchungen über Verhältnisse der Hornhautkrümmung im normalen Zustande und unter pathologischen Bedingungen. 15. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 17.

1884. 27. Hubert et Prouff, Kératoscopie. Rev. Clin. d'Ocul. S. 110.

1885. 28. Pfalz, Ophthalmometrische Untersuchungen über Cornealastigmatismus, mit dem Ophthalmometer von Javal und Schiötz, ausgeführt in der Universitätsaugenklinik zu Königsberg. Arch. f. Ophth. XXXI, 1. S. 201.

1885. 29. Burnett, Swan M., Ophthalmometry with the ophthalmometer of Javal and Schiötz, with an account of a case of keratoconus. Arch. of Ophth. XIV, 2 u. 3.

30. Schiötz, Ophthalmometrische und optometrische Untersuchungen von 969 Augen. Arch. f. Augenheilk. VI. S. 37.

1888. 31. Javal, Ophthalmometer. 7. internat. Ophthalmologenkongr. zu Heidelberg. (Mit Disk. über Ophthalmometrie.)

32. Burnett, Swan M., An analysis of the refraction of 576 healthy human corneae examined with the ophthalmometer of Javal et Schiötz. Transact. of the Amer. Ophth. Soc.

33. Leroy et Dubois, Méthode pour déterminer par l'ophtalmomètre l'astigmatisme cornéen. Rev. Gén. d'Opht.

34. Leroy et Dubois, Nouvel ophtalmomètre. Arch. d'Opht. VIII. S. 280.

1889. 35. Leroy et Dubois, Un nouvel ophtalmomètre pratique. Rev. Gén. d'Opht. S. 49; Ann. d'Ocul. IC. S. 123 und Arch. d'Opht. VIII. S. 280.

36. Leroy et Dubois, Quelques perfectionnements de l'ophtalm. Rev. Gén. d'Opht. S. 111.

37. Gullstrand, Eine praktische Methode zur Bestimmung des Astigmatismus der Hornhaut mittelst der sogenannten Denivellierung der ophthalmologischen Bilder. (Schwedisch.)

38. Leroy et Dubois, Sur la forme de la cornée humaine normale. Compt. rend. de l'Acad. des Sc. de Paris. XVII. S. 696.

39. Leroy, Influence des muscles de l'oeil sur la forme normale de la cornée humaine. Arch. de Physiol. norm. et Path. XXI. S. 141.

1890. 40. du Bois-Reymond, C., Keratoskop zur Messung des Hornhautastigmatismus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 257.

41. Chibret, Astigmatisme selon et contre la règle. Resultats comparés de l'examen objectif et de l'examen subjectif. Arch. d'Opht.

42. Bull, G. J., Sur l'examen ophtalmométrique et optométrique de 621 yeux astigmatiques. Soc. franç. d'Opht.

1891. 43. Sulzer, Description de l'ophtalmomètre Javal et Schiötz. Mém. d'Opht. par E. Javal. Paris. S. 15.

44. Martin, Georges, Etudes cliniques d'ophtalmométrie. Mém. d'Opht. par E. Javal. Paris. S. 443.

45. Pflüger, Einige Resultate klinischer Ophthalmometrie. Mém. d'Opht. par E. Javal. Paris. S. 559.

46. Tscherning, Théorie mathématique de l'ophtalmométrie de la cornée. Mém. d'Opht. par E. Javal. Paris. S. 573.

(In dem Buche Mém. d'Opht. sind 46 Abhandlungen aus den Jahren 1880 bis 1890 zusammengestellt, bezw. aus anderweitigen Zeitschriften abgedruckt.

47. Ostwalt, De la force réfringente de la cornée, de l'ophtalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen. Rev. Gén. d'Opht. S. 193—219.

48. Ostwalt, Einige Worte über Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.

1892. 49. Ostwalt, De la réfraction de l'oeil fort myope à l'état d'aphakie. Rev. Gén. d'Opht. S. 1.

50. Sulzer, Der Einfluss des Winkels α auf die Resultate der Ophthalmometrie und dessen Bestimmung mittelst des Ophthalmometers. Verh. d. 10. internat. med. Kongr. zu Berlin. IV, 2. S. 138.

51. Sulzer, La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision. Arch. d'Opht. XII. S. 42.

1892. 52. Würdemann, What may be considered normal corneal astigmatism? From keratometric measurements of three hundred eyes. Journ. Amer. med. Assoc. Chicago. XIX. S. 243.

53. Burnett, The general form of the human cornea and its relations to the refraction of the eye and visual acuteness. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. 28. Meet. S. 316.

54. Highet, L'ophtalmomètre de poche du Dr. Reid. Arch. d'Opht. XII. S. 174.

1893. 55. Ostwalt, Recherches expérimentales sur l'influence que l'éloignement de l'oeil exerce sur la force réfringente du cylindre correcteur dans les différents formes d'astigmatisme. Arch. d'Opht. S. 543.

56. Reid, On a portable ophthalmometer. Proc. Roy. Soc. London. S. 1.

1894. 57. Andogsky und Dolganoff, Sur l'astigmatisme et sa correction, dans leurs rapports avec l'usage de l'ophtalmomètre de Javal et Schiötz. Ann. d'Ocul. CXII. S. 296.

58. van Fleet, Astigmatism and the ophthalmometer. Arch. Ophth. XXIII. S. 50.

59. Steiger, Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraktion. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 98.

1895. 60. Lucciola, Studio critico sull' oftalmometro di Reid. Ann. di Ottalm. XXIV. Suppl. S. 34.

1896. 61. Uhthoff, Beitrag zur Keratoskopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 219. 25. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 316.

62. Sulzer, Quelques résultats de l'ophtalmométrie clinique. Ann. d'Ocul. CXVI. S. 241.

63. Murdoch, Reid's portable ophthalmometer. Amer. Journ. of Ophth. S. 133.

64. Gullstrand, Photographisch-ophthalmometrische und klinische Untersuchungen über die Hornhautrefraktion. Schwed. Akad. d. Wissensch. XXVIII. (Deutsch.)

1897. 65. Dimmer, Zur Lehre vom Astigmatismus. Arch. f. Ophth. XLIII. 3. S. 613.

66. Sulzer, Du rôle de la cornée dans la production des differences existant entre l'astigmatisme cornéen mesuré à l'aide de l'ophtalmomètre et l'astigmatisme total. Ann. d'Ocul. CXVII. S. 123.

67. Culbertson, Illümination of the Javal Astigmometer. Amer. Journ. of Ophth. S. 13.

68. Ostwalt, Beitrag zur Dioptrik des Auges. Arch. f. Ophth. XLIV. S. 565.

1898. 69. Antonelli, A proposito dello Oftalmometer Javal-Schiötz modello recente. Ann. di Ottalm. XXVII. S. 17.

1899. 70. Holth, Ophthalmometrische Untersuchungen über das menschliche Auge nach dem Tode. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 87.

71. Oliver, Description of an adjustable bracket for the Reid ophthalmometer. Univ. med. Magazin. Juli.

72. Holth, Etudes ophtalmométriques. 9. internat. Ophthalmologenkongress zu Utrecht.

1900. 73. Holth, Über subjektive Astigmometrie bei gewissen ophthalmometrischen Verdoppelungsmethoden, speziell beim Kagenaar'schen Biprisma. Arch. f. Augenheilk. XLI, 2.

1901. 74. Wolff, H., Über das elektrische Skiaskop. Bericht über die 28. Vers. d. ophth. Ges. Wiesbaden. S. 180.

IV. Dioptometrie.

Die Bestimmung der Refraktion des Auges.

Von

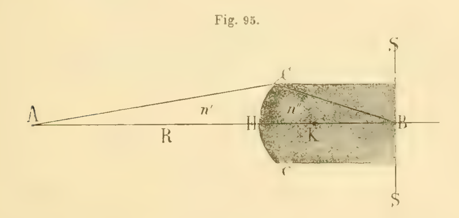
Dr. E. Landolt.

Mit Fig. 95—151.

§ 53. Definition. Unter Refraktion oder Brechzustand des Auges verstehen wir im allgemeinen den reciproken Wert der Entfernung des Punktes vom Auge, auf welchen dasselbe eingestellt ist.

Eingestellt ist das Auge auf einen Punkt, wenn es von demselben auf seiner Netzhaut ein scharfes Bild erhält.

Fig. 95.



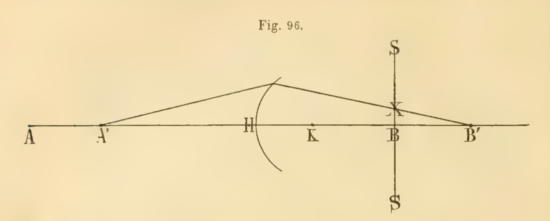
Denken wir uns das einfachste optische System, mit welchem das Auge füglich verglichen, auf welches dasselbe reduziert werden kann, eine konvexe Fläche CHC (Fig. 95), welche ein schwächer brechendes Medium n' von einem stärker brechenden n'' trennt. K ist ihr Krümmungscentrum, H ihr Scheitel, resp. der Punkt, wo sie sich mit der Achse kreuzt.

Sei nun A ein leuchtender Punkt, B das von demselben durch das System entworfene Bild, welches gerade auf den die Netzhaut darstellenden Schirm SS falle. Bezeichnen wir die Entfernung AH des leuchtenden Punktes vom Systeme mit R, so wäre also $\frac{1}{R}$ die Refraktion desselben.

Rückt der Punkt A näher an die brechende Fläche, z. B. nach A' (Fig. 96), so rückt, ceteris paribus, sein Bild von derselben ab, nach B'. Der Schirm SS erhält also einen Zerstreuungskreis, dessen Halbmesser BX darstellt. — Soll er ein scharfes Bild von A' erhalten, so muss offenbar die Brechkraft des Systems erhöht werden, um die von dem Leuchtpunkte kommenden Strahlen nicht erst in B', sondern schon in B zur Vereinigung

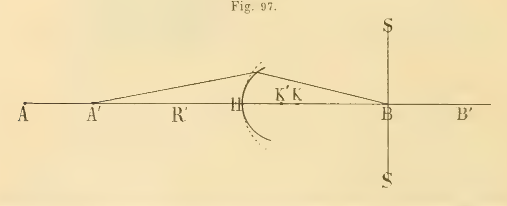
zu bringen. Dies kann auf verschiedene Weise bewerkstelligt werden. Am einfachsten geschieht es durch eine Zunahme der Krümmung der brechenden Fläche. Verkürzen wir ihren Radius (Fig. 97), so dass K nach K' zu liegen kommt, so wird das Bild von A' in B entstehen.

Fig. 96.



Bezeichnen wir die Entfernung des leuchtenden Punktes $A'H$ mit R'. R' ist kleiner als das frühere R: ihm entspricht aber, wie wir gesehen haben, eine stärkere Refraktion als dem R. Dieses ist der Grund, warum

Fig. 97.



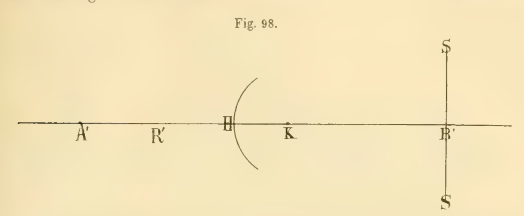
die Refraktion des Auges nicht der Entfernung des scharf gesehenen Objektes direkt, sondern umgekehrt proportional gesetzt werden muss. Sie wird also in unserem zweiten Beispiele durch $\frac{1}{R'}$ ausgedrückt.

Kehren wir noch einmal zu dem Beispiele der Fig. 96 zurück. Stellen wir uns vor (Fig. 98), der Schirm SS befinde sich in B' statt in B. Dann erhält er also das scharfe Bild von A', ohne dass die Brechkraft des Systems sich zu ändern brauchte.

Ist SS die Netzhaut dieses reduzierten Auges, so ist seine Refraktion, sein Brechzustand wiederum $\frac{1}{R'}$, da die Entfernung des Leuchtpunktes vom Auge $A'H$ dieselbe geblieben ist.

Daraus folgt, dass die Refraktion oder der Brechungszustand des Auges nicht verwechselt werden darf mit der Brechkraft desselben; kann doch die erstere, wie wir gesehen haben, für zwei ganz verschiedene Brechkräfte ganz dieselbe sein.

Fig. 98.



Das geht übrigens auch aus unserer Definition hervor. Sie handelt einfach von der Entfernung des leuchtenden Punktes, der ein scharfes Netzhautbild entspricht, unbekümmert um die Brechkraft des optischen Systems sowohl, als um die Länge des Auges.

So würde z. B. Fig. 97 ein Auge darstellen, das, dank seiner erhöhten Brechkraft, sagen wir der Akkommodation, Fig. 98 ein Auge, das, dank seiner Länge, sagen wir seiner Achsenmyopie, auf den Punkt A' eingestellt ist. Die Brechkraft ist in beiden sehr verschieden, der Brechzustand derselbe.

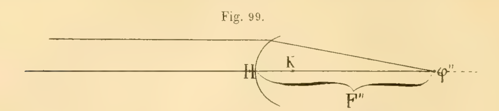
Ist die Entfernung des Punktes, für welchen das Auge eingestellt, adaptiert ist, 25 cm, so ist seine Refraktion, sein Brechzustand $\frac{1}{25 \text{ cm}}$. — Da wir aber bei unseren Messungen nicht den Centimeter, sondern den Meter als Einheit verwenden, und 25 cm einem $^1/_4$ m entsprechen, so drücken wir diese Refraktion aus durch $\frac{1}{^1/_4 \text{ m}} = 4$. Und da wir $\frac{1}{1 \text{ m}}$ als Dioptrie bezeichnen, so würden wir in unserem Beispiele sagen: Die Refraktion ist = 4 Dioptrien.

Der Leser mag uns billig fragen: Was ist nun aber die Brechkraft des Auges? — Die Brechkraft des Auges, d. h. die Stärke seines dioptrischen Apparates, ist, wie die jedes optischen Systems, gleich dem reciproken Werte seiner hinteren oder zweiten Hauptbrennweite. In obigem reduziertem Auge entspricht dieselbe der Entfernung des zweiten oder hinteren Hauptbrennpunktes von der brechenden Fläche. Der zweite Hauptbrennpunkt ist der Punkt, in welchem sich die Strahlen vereinigen, welche vor dem Eintritt in das System parallel gewesen sind (φ'' Fig. 99).

Bezeichnet man die zweite Hauptbrennweite $H\varphi''$ mit F'', so ist die Brechkraft des Systems, welches ein reduziertes Auge darstellt $= \frac{1}{F''}$.

Ganz dasselbe ist der Fall für ein linsenloses Auge, das, gerade unserem Beispiele entsprechend, ein optisches System darstellt, welches aus einer einzigen brechenden Fläche, der Hornhaut, besteht, die ein schwächer brechendes Medium, die Luft, von einem stärker brechenden, dem Glaskörper, trennt.

Fig. 99.



Da deren Brechungsindices sich verhalten wie 3 zu 4, so ist die zweite Hauptbrennweite 4 mal (die erste 3 mal) so groß, wie der Krümmungsradius der brechenden Fläche. F'' würde also für einen Hornhautradius von 8 mm = 32 mm, und die Brechkraft dieses aphakischen Auges $= \frac{1000}{32} = 31$ Dioptrien.

Das linsenhaltige Auge hat ein komplizierteres optisches System. Die zweite Hauptbrennweite wird nicht von der Hornhautoberfläche, sondern vom zweiten Hauptpunkte, H'', ab gerechnet, der ungefähr 2 mm hinter der Hornhaut liegt. F'' ist dann 20,7 mm, die Brechkraft des Vollauges also = 48 Dioptrien.

Um das Dioptriensystem auch dem einfachen Diopter, sowie den Kombinationen desselben mit Linsen zugänglich zu machen, schlug M. G. Weiss vor (185), die Brechkraft derselben, sowie diejenige aller kombinierten centrierten optischen Systeme, auszudrücken durch das Produkt der umgekehrten zweiten Brennweite des gesamten Systems mit dem Brechungsindex des letzten Mediums, oder, was auf dasselbe herauskommt, durch das Produkt der umgekehrten, ersten Brennweite des gesamten Systems mit dem Brechungsindex des ersten Mediums. — Die Brennweiten müssen dazu in Bruchteilen des Meters angegeben werden.

Sei z. B., wie beim reduzierten Auge, der Brechungsindex des ersten Mediums (Luft) $n' = 1$, der des letzten Mediums (Wasser) $n'' = \frac{4}{3}$, die erste Hauptbrennweite $F' = 15 \text{ mm} = \frac{1 \text{ m}}{66,66}$, die zweite Hauptbrennweite $F'' = 20 \text{ mm} = \frac{1 \text{ m}}{50}$, so würde für die Brechkraft B eines solchen Systems zu schreiben sein:

$$B = \frac{n'}{F'} = \frac{1}{1/_{66,6}} = 66,6 \text{ D.}$$

oder

$$B = \frac{4/_3}{1/_{50}} = \frac{4,50}{3} = \frac{200}{3} = 66,6 \text{ D.}$$

Den Vorteil dieser Ausdrucksweise findet Weiss darin, dass, wenn einem solchen Systeme eine Linse vorgesetzt wird — allerdings so nahe, dass sie als in dessen Hauptebene stehend betrachtet werden kann —, sich deren Brechkraft direkt zu derjenigen des Systems addieren lässt.

Eine Konvexlinse von 5 D., hart an ein Auge von 66 D. gebracht, würde dessen Brechkraft auf 66 + 5 = 71 D. erhöhen, eine Konkavlinse von 5 D. auf 66 — 5 = 61 D. herabsetzen.

Die Zunahme der Brechkraft des Auges durch die Akkommodation soll sich auf die Weise besonders gut darstellen lassen.

Wir haben oben schon auseinandergesetzt, warum wir in der Augenheilkunde nicht die Brechkraft des Auges $\left(\frac{1}{F''} \text{ oder } \frac{1}{F'}\right)$ sondern dessen Brechzustand $\left(\frac{1}{f''}\right)$, den reciproken Wert seiner vorderen (d. h. mit seiner Netzhaut) konjugierten Brennweite zu Rate ziehen. Die Rechnungen werden auf diese Weise geradeso genau, und zu gleicher Zeit praktischer, als die Weiss'schen. Man vergleiche z. B. die Darstellung der Akkommodationsbreite, die Berechnung des Brechzustandes nach Linsenverlust u. s. w.

Bekanntlich kann das Auge seine Brechkraft mit Hilfe des Akkommodationsapparates ändern. Damit ändert sich selbstredend auch sein Brechzustand, d. h., bei Anspannung der Akkommodation, ist das Auge auf einen anderen, einen näheren Punkt eingestellt.

Sprechen wir nun kurzweg von Refraktion des Auges, so verstehen wir darunter den Brechzustand des ruhenden Auges.

Wir können sie auch als statische Refraktion bezeichnen, im Gegensatze zu der dynamischen Refraktion, oder Akkommodation.

Beschäftigen wir uns erst mit der Bestimmung der statischen Refraktion des Auges.

Im Zustand der Ruhe, ist die Brechkraft, und damit auch die Refraktion des Auges, am schwächsten. Das Auge ist auf den entferntesten Punkt eingestellt, den es deutlich zu sehen vermag, auf sein Punctum remotum.

Um die statische Refraktion des Auges zu bestimmen, müssen wir also dessen Fernpunkt kennen. Der reciproke Wert der Entfernung desselben von dem Auge ergiebt dann das, was wir suchen.

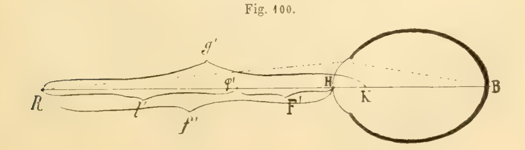
Sei R die Entfernung des Punctum remotum, so ist $\frac{1}{R}$ die »Refraktion« des Auges.

Unsere Aufgabe ist also, die Methoden zu suchen, welche uns in den Stand setzen, die Entfernung des Fernpunktes von dem Auge zu bestimmen.

Nun ist aber das Auge kein Punkt. Um genau zu sein, müssen wir also angeben, von welchem Punkte des Auges an wir die Entfernung des Punctum remotum rechnen.

Hier können nun wohl nur drei der sogenannten Kardinalpunkte des Auges in Frage kommen:

Fig. 100.



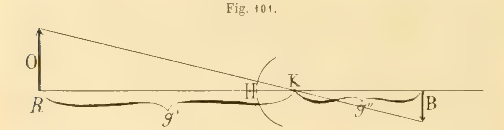
1. Der Knotenpunkt. Er fällt, im reduzierten und im aphakischen) Auge, mit dem Krümmungscentrum der brechenden Fläche zusammen (K Fig. 100. Im linsenhaltigen, oder Vollauge, müsste man den vorderen Knotenpunkt K' dazu wählen. Derselbe liegt, im ruhenden und mit keinem Brillenglase bewaffneten Auge, 7 mm hinter der Hornhautoberfläche. — Wir entnehmen die Lage der Kardinalpunkte der neuen Ausgabe von **Helmholtz**'s physiologischer Optik S. 140), erlauben uns aber, dieselben der Klarheit wegen, eventuell abzurunden.

2. Der vordere Brennpunkt (φ' Fig. 100), welcher 15 mm vor der brechenden Fläche des reduzierten Auges, bei Aphakie ungefähr 23 mm, beim Vollauge ungefähr 13 mm vor der Hornhaut liegt.

3. Der Hauptpunkt, welcher der brechenden Fläche des reduzierten und der Hornhaut des aphakischen Auges entspricht (H in unseren Figuren). Im linsenhaltigen Auge entspräche demselben der erste, resp. vordere Hauptpunkt H', der ungefähr 2 mm hinter der Hornhaut liegt.

Den Knotenpunkt (K) hat hauptsächlich **Donders** zum Ausgangspunkte der Refraktionsbestimmung gewählt, und zwar offenbar deshalb, weil dadurch die Berechnung der Größe des Netzhautbildes sehr einfach wird.

Fig. 101.



Durch den Knotenpunkt gehen nämlich die Richtungslinien, welche die einander entsprechenden Punkte von Objekt und Bild miteinander verbinden (Fig. 101). Es verhält sich also die Bildgröße B zur Objektgröße O wie die Knotenpunkt-Netzhautdistanz (g'') zu der Knotenpunkt-Fernpunktdistanz (g'):

$$\frac{B}{O} = \frac{g''}{g'}.$$

Der Ausdruck für die Refraktion des Auges ist also nach **Donders**: $\frac{1}{g'}$.

Für die direkte Messung ist jedoch der mindestens 7 mm tief im Auge liegende Knotenpunkt allzuschwer zugänglich. Außerdem können wir zwar für gewöhnlich die im normalen Auge einander sehr nahe liegenden zwei Knotenpunkte als in einem vereint ansehen, nicht mehr jedoch, wenn das Auge mit einem Brillenglase bewaffnet ist. In dem kombinierten Systeme, Auge plus Korrektionsglas, rücken die zwei Knotenpunkte einmal so weit

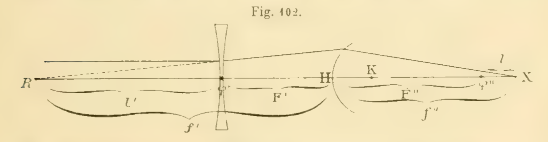
auseinander, dass φ' vom ersten, φ'' vom zweiten ab gerechnet werden muss. Aber auch für den Fall, dass die beiden Knotenpunkte noch als vereinigt betrachtet werden dürfen, ändert dieser vereinigte Knotenpunkt seine Lage oft sehr beträchtlich: ungefähr um 1 mm für ein 13 mm vor der Hornhaut stehendes Glas von 3 Dioptrien.

Vom vorderen Brennpunkte (φ') ab, hat Giraud-Teulon die Refraktion gerechnet, und zwar deswegen, weil zufällig die Brillengläser für gewöhnliche Nasen — und Augen — ungefähr in diesen Punkt zu stehen kommen. Der vordere Brennpunkt liegt nämlich, wie gesagt, für das linsenhaltige Auge 13 mm vor der Hornhaut, 15 mm vor der brechenden Fläche des reduzierten Auges (Fig. 102).

Bezeichnet man also mit f' die Entfernung RH des Fernpunktes von der brechenden Fläche, mit F' die vordere Brennweite des Auges ($H\varphi'$), so ist für Giraud-Teulon und seine Nachfolger $\frac{1}{f'-F'}$ der Ausdruck der Refraktion des Auges, oder, da man den Wert $f'-F'$ durch l' auszudrücken pflegt: $\frac{1}{l'}$.

Diese Ausdrucksweise hat zwei Vorteile. Einmal giebt, wenn man im linsenhaltigen Auge die Refraktion mit Brillengläsern bestimmt, das gefundene Glas direkt die Refraktion an; sodann lässt sich, aus der Brennweite l' dieses Glases, leicht der Längenunterschied berechnen, durch welchen

Fig. 102.



sich das betreffende ametropische Auge von dem emmetropischen unterscheidet.

Die Länge des reduzierten ametropischen Auges ist in Fig. 102 dargestellt durch $HX = f''$, die des emmetropischen durch $H\varphi'' = F''$.

Die Differenz der beiden, $HX - H\varphi''$ ist $= \varphi''X$; schreiben wir $f''-F'' = l''$. Dieser Längenunterschied l'' berechnet sich nun einfach mit der Formel $l'' = \frac{F' \cdot F''}{\pm l'}$.

Es scheint uns jedoch in erster Linie etwas dem Gefühle widersprechendes, die Refraktion des Auges von einem Punkte aus zu rechnen, der mindestens 13 mm von demselben entfernt ist. Thun wir dies auch in

der Praxis, wo es uns auf große Genauigkeit nicht ankommt, und namentlich in Fällen von schwacher Ametropie, wo, wegen der großen Entfernung des Fernpunktes, 13 mm vernachlässigt werden können, so giebt diese Art der Refraktionsbezeichnung, bei höheren Graden von Ametropie, doch zu merkwürdigen Widersprüchen Veranlassung. Nehmen wir z. B. ein myopisches Auge, korrigiert durch Konkav 8 D., ein hypermetropisches korrigiert durch Konvex 8 D. im vorderen Brennpunkte φ', so liegt, im ersten Falle (M), der Fernpunkt $125 + 15 = 140$ mm vor dem Auge (resp. der brechenden Fläche des reduzierten Auges), im zweiten (H) $125 - 15 = 110$ mm hinter derselben.

Ferner ist zu bedenken, dass es, außer der Optometrie mit Brillengläsern, noch eine Menge anderer Methoden giebt, die Refraktion eines Auges zu bestimmen, bei denen der vordere Brennpunkt durchaus keinen Vorteil bietet.

Ja schon in der täglichen Praxis, haben wir den so häufigen Fall der Aphakie, wo der Brennpunkt volle 23 mm vom Auge entfernt liegt, das Brillenglas aber seine Lage nicht verändert. Unter diesen Umständen kann also die Brennweite desselben durchaus nicht als l' in obige Formel eingeführt werden.

Bei Astigmatismus, liegen die Knotenpunkte sowohl wie die Brennpunkte der beiden Hauptmeridiane desselben Auges in verschiedener Entfernung von der Hornhaut, auch wenn die Lichtbrechung in diesen beiden Meridianen als von je einer einzigen Fläche hervorgebracht betrachtet werden kann. Die Hauptpunkte der beiden Meridiane dagegen fallen in dem Scheitel der brechenden Fläche zusammen, wo die zwei Hauptmeridiane sich schneiden.

Vor allen Dingen aber dürfen wir nicht vergessen, dass wir es nicht allein mit einem einzigen Brechzustande, der statischen Refraktion, zu thun haben, sondern auch mit der dynamischen, der Akkommodation. Die beiden müssen doch offenbar nach demselben Prinzipe bestimmt werden. Wie ließe sich sonst die Veränderung der Refraktion, deren ein Auge fähig ist, die Akkommodationsbreite, finden, wenn das Maximum der Refraktion mit einem anderen Maße gemessen würde als das Minimum?

Oder sollte das stärkste Konkav- resp. das schwächste Konvexglas, durch welches ein Auge noch deutlich in die Ferne zu sehen vermag, den Ausdruck seines Refraktionsmaximums abgeben, wenn das Glas 13 mm vor seiner Hornhaut steht?

Wir würden nicht wagen diese Methode zur Bestimmung der Akkommodation zu empfehlen, schon wegen des Zusammenhanges der Akkommodation mit der Konvergenz nicht. Die beiden Funktionen sind so eng miteinander verbunden, dass beim Blick in die Ferne, d. h. bei erschlaffter Konvergenz, nie die volle Akkommodationskraft zur Entwicklung kommt.

Jedenfalls aber müsste, wollte man Giraud-Teulon's Prinzip folgen, der Nahepunkt wie der Fernpunkt vom vorderen Brennpunkte des Auges

ab gerechnet werden. Dieser ändert aber seine Lage, gerade wegen der Zunahme der Brechkraft, in welcher die Akkommodation besteht. Er rückt dem Auge um so näher, je stärker dasselbe akkommodiert. Seine Lage ist also eine sehr veränderliche.

Da scheint es uns denn doch natürlicher, zur Bestimmung der Refraktion, welche es auch sein möge, einen Punkt zu wählen, welcher dem Auge selbst angehört und direkter Messung möglichst zugänglich ist.

Dazu eignet sich nun der erste Hauptpunkt am allerbesten. Im Vollauge liegt er 2 mm hinter der Hornhaut. Im reduzierten, wie im aphakischen Auge, entspricht er der brechenden Fläche (H in unseren Figuren), resp. der Hornhaut. In diesem Falle lässt er sich also direkt beobachten.

Aber auch im Vollauge dürfen die 2 mm, um welche der Hauptpunkt hinter der Hornhaut liegt, gewöhnlich ohne merklichen Fehler vernachlässigt werden.

Dazu kommt, dass bei der Akkommodation, so wie im Falle der Krümmungsametropie, die Hauptpunkte ihre Lage kaum verändern, während die Knotenpunkte, und mehr noch der vordere Brennpunkt, eine beträchtliche Verschiebung eingehen.

Zur Akkommodation von Unendlich auf 130 mm (7,6 D.), wobei der Radius der vorderen Linsenfläche sich um 4 mm, der der hinteren um 0,5 mm verkürzt, tritt der erste Hauptpunkt nur um 0,1 mm, der zweite um 0,14 mm zurück, während der erste Knotenpunkt um 0,4 mm, der zweite um 0,36 mm vorrückt.

Akkommodation, wie Krümmungsmyopie, werden im reduzierten Auge dargestellt durch eine Verkürzung des Krümmungsradius der brechenden Fläche, wie dies unsere Fig. 97 versinnlicht. Der Hauptpunkt H behält seinen Ort bei, K dagegen rückt nach vorn (K') bei Krümmungsmyopie, nach hinten bei Krümmungshypermetropie. Beträgt die Verkürzung des Radius (KK') 1 mm, so wird $F' = 3 \times 4 = 12$ mm. — φ' liegt also 12 statt 15 mm vor H; φ', der vordere Brennpunkt, hat seine Lage um volle 3 mm verändert.

Den Vorzug des Hauptpunktes, bei der Bestimmung des Astigmatismus, haben wir soeben hervorgehoben.

Gedenken wir auch des praktisch so interessanten Verhältnisses zwischen linsenhaltigem und linsenlosem Auge. Im ersten Falle liegt $\varphi' = 13$, im zweiten 23 mm vor der Hornhautoberfläche. Ein so variabler Punkt eignet sich doch gewiss nicht zu vergleichenden Messungen. Der Hauptpunkt dagegen liegt im ersten Falle, wie schon bemerkt, nur 2 mm hinter dieser Fläche, im letzten in der Fläche selbst, geht also für eine so enorme Refraktionsveränderung, wie sie der Verlust der Linse darstellt, nur eine Ortsveränderung von 2 mm ein.

Endlich werden die Hauptbrennweiten des Auges, F' und F'', wie die jedes optischen Systems, auch von den Hauptpunkten aus gerechnet.

Aus allen diesen Gründen haben wir, schon in zwei früheren Werken über Refraktion und Akkommodation (114a und 124), den vorderen Hauptpunkt zum Ausgangspunkte der Refraktionsbestimmung gewählt. Die maßgebende Entfernung HR ist dann also die gewöhnlich mit f' bezeichnete, vordere konjugierte Brennweite des Systems, und $\frac{1}{f'}$ der Ausdruck für die Refraktion, den Brechzustand des Auges.

Unter den vielen Autoren, welche denselben Weg eingeschlagen haben, citieren wir namentlich Nagel und C. Hess.

Kommen wir nun wieder auf unser Problem zurück, die Bestimmung der Refraktion im Ruhestande, der statischen Refraktion des Auges, wobei dasselbe auf seinen Fernpunkt R eingestellt ist. $RH = \mathrm{R}$ ist also die gesuchte Entfernung und $r = \frac{1}{\mathrm{R}}$ oder $\frac{1}{f'}$, die Refraktion des Auges.

Der Fernpunkt des Auges kann sich in endlicher, positiver Entfernung vor dem Auge befinden ($+R$), wie bei Myopie; er kann unendlich weit entfernt sein, wie bei Emmetropie, oder auch über die Unendlichkeit hinaus, in negativer Entfernung hinter dem Auge liegen, d. h. dem Punkte entsprechen, wohin Strahlen konvergieren müssen, wenn sie auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen sollen ($-R$) (Hypermetropie).

Die Lage des Fernpunktes ergiebt also die Natur der Refraktion des Auges. Sie ist positiv für Myopie, Null (weil $\frac{1}{\mathrm{R}} = \frac{1}{\infty} = 0$) bei Emmetropie, negativ bei Hypermetropie.

Die Emmetropie wird als der normale Refraktionszustand des Auges betrachtet. Da liegt der Fernpunkt in der Unendlichkeit, die von ihm ausgehenden Strahlen sind parallel, und, da sie auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen, so liegt, bei Emmetropie, der zweite Hauptbrennpunkt (φ'' Fig. 99) auf der Netzhaut.

Myopie und Hypermetropie sind demnach Refraktionsanomalien. Sie werden auch mit Ametropie bezeichnet.

Folgt aus der Lage des Fernpunktes die Natur der Ametropie, so ergiebt dessen Entfernung vom Auge den Grad derselben. Er ist dieser Entfernung (R) umgekehrt proportional. In der That ist aus der Formel $r = \frac{1}{\mathrm{R}}$ zu ersehen, dass r um so größer, je kleiner R.

Unsere Aufgabe ist also:

1. Die Lage, 2. die Entfernung des Fernpunktes vom Auge, resp. von dessen Hauptpunkt zu bestimmen.

Nehmen wir an, *R* (Fig. 103) sei der Fernpunkt des Auges, *B* sein Netzhautbild, so sind offenbar *R* und *B* konjugierte Brennpunkte. Nun sagt ein bekanntes Gesetz, dass die Strahlen, die von *R* nach *B* gehen, zusammenfallen mit den Strahlen, die von *B* nach *R* gehen, d. h. wenn sich in *B* ein Lichtpunkt befände, so würde sein Bild in *R* entstehen. Man kann also Objekt und Bild miteinander vertauschen. Daraus geht hervor, dass sich *R* sowohl mit Hilfe der ins Auge dringenden, als mit den aus dem Auge kommenden Strahlen bestimmen lassen muss.

Fig. 103.

R H K B

Die ersteren, die einfallenden Strahlen, entwerfen das Netzhautbild, die letzteren, die ausfallenden, das Bild des Augengrundes.

Wir können also unsere Aufgabe nach zwei verschiedenen Prinzipien lösen:

1. Entweder fragen wir: Wo muss ein Objekt stehen, damit, im ruhenden Auge, ein scharfes Netzhautbild davon zu stande komme, resp. welche Richtung müssen Lichtstrahlen haben, um auf der Netzhaut des ruhenden Auges zur Vereinigung zu kommen?

Oder 2. In welcher Entfernung vom Auge kommt das Bild seiner Netzhaut zu stande, resp. nach welchem Punkte sind die Strahlen gerichtet, welche von einem Punkte der Netzhaut des ruhenden Auges ausgehen?

Da nun gewöhnlich das Auge selbst die Schärfe seines Netzhautbildes beurteilt, so kann man die auf den einfallenden Strahlen beruhenden Methoden als subjektive bezeichnen. Die ausfallenden Strahlen dagegen werden zum Objekte für den Beobachter, und ergeben die objektiven Methoden der Refraktionsbestimmung.

Subjektive Methoden der Refraktionsbestimmung.

§ 54. Man könnte glauben, die Refraktion sollte sich bestimmen lassen mit Hilfe eines leuchtenden Punktes, den man immer weiter vom Auge entfernte, bis er aufhören würde scharf gesehen zu werden.

Diese Methode hätte jedoch schon das Missliche, dass es sehr schwer zu beurteilen ist, wann das Bild eines Punktes das Maximum seiner Schärfe erreicht hat. Man müsste jedenfalls als Prüfungsobjekt ein komplizierteres Objekt wählen, das nur dann richtig erkannt werden könnte, wenn es ein scharfes Netzhautbild entwerfen würde.

Der Hauptübelstand einer solchen Refraktionsbestimmung würde aber darin liegen, dass sich der Fernpunkt nicht nur in unendlicher Entfernung, sondern sogar darüber hinaus befinden kann, resp. darin, dass das Auge nicht nur mehr oder weniger divergenter, sondern paralleler, ja sehr häufig konvergenter Strahlen bedarf, um ein scharfes Netzhautbild zu erhalten, d. h. deutlich zu sehen.

Die subjektive Refraktionsbestimmung verlangt also Methoden, die uns gestatten, den von einem Objekte ausgehenden Strahlen die zur Erzeugung eines scharfen Netzhautbildes, resp. zu deutlichem Sehen erforderliche Richtung zu geben[1]).

Solcher Methoden giebt es nun eine ganze Menge.

1. Bestimmung der Refraktion mit Hilfe von Brillengläsern.

Man stellt die Prüfungsobjekte in einer Entfernung auf, die als unendlich betrachtet werden kann (mindestens 5 m), und modifiziert die Richtung der davon ausgehenden Strahlen, mittelst vor das Auge gesetzter Gläser, bis das Auge das Maximum seiner Sehschärfe, das Netzhautbild mithin das Maximum seiner Deutlichkeit erreicht hat.

Da ein solches Glas das ametrope Auge befähigt, in die Ferne zu sehen, es sozusagen emmetropisch macht, so nennt man dieses Glas das korrigierende Glas, oder das »Korrektionsglas«.

Der Fernpunkt des Auges fällt offenbar zusammen mit dem Brennpunkte des korrigierenden Glases. Aus dem Zeichen des Glases, — oder +, ergiebt sich die Natur der Refraktion des Auges. Da parallele Strahlen, welche durch Minus-, resp. Konkavgläser gegangen sind, divergent sind, so ist die Refraktion eines Auges, das solcher Gläser zum Sehen in die Ferne bedarf, offenbar positiv.

Umgekehrt beweist deutliches Sehen in die Ferne durch positive, d. h. konvexe Gläser, dass die Refraktion des Auges negativ ist, weil diese Gläser die parallelen Strahlen konvergent machen.

---

1) Nur bei Myopie liegt der Fernpunkt in endlicher, direkt bestimmbarer Entfernung. Ist man im voraus sicher, dass man es mit einem myopischen Auge zu thun hat, so kann man auch den Grad dieser Form der Ametropie aus der größten Entfernung ableiten, in welcher das nicht akkommodierende Auge feine Objekte noch deutlich sieht. Geschieht dies z. B. in 1/2 m, so ist die Myopie = 2 D. u. s. f. Diese Methode kann, wie Dr. Hegg gezeigt hat, besonders bei der Bestimmung hochgradiger Myopie von Nutzen sein. In diesem Falle darf nämlich der Abstand zwischen Korrektionsglas und Auge nicht vernachlässigt werden.

Hegg's Instrument 217) besteht aus einem Rohre von 25 cm Länge. In demselben ist, als Gesichtsobjekt, ein Coconfaden verschiebbar. Zur richtigen Stellung des Rohres zum Auge dienen zwei seitliche Visieröffnungen. Das Rohr wird dem Auge genähert, bis dessen Hornhautscheitel in die Ebene der Visieröffnungen fällt.

Da der Autor die Entfernung des Punctum remotum vom vereinigten Knotenpunkte ab rechnet, verlegt er den Nullpunkt der Einteilung des Rohres 7,5 mm hinter die Visierebene. Für uns würde er nur 2 mm hinter der Hornhaut liegen.

Würde das Korrektionsglas im Hauptpunkte des Auges stehen, so würde offenbar seine Brennweite gleich sein der gesuchten Entfernung R, und seine Brechkraft der gesuchten Refraktion $\frac{1}{R}$ oder r.

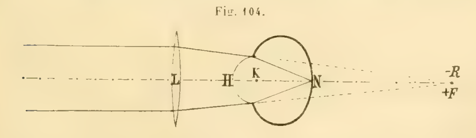
Da außerdem die Nummer der Brillengläser deren Brechkraft angiebt, so würde sie, in diesem Falle, gleichzeitig auch den Grad der Refraktion ausdrücken. Dies ist auch der Fall, wenn die Entfernung des Korrektionsglases vom Auge im Vergleich zu dessen Brennweite vernachlässigt werden kann, oder wo es überhaupt nicht auf große Genauigkeit ankommt. Anderenfalls muss, beim Ausdrucke der Refraktion, der Entfernung des Glases vom Auge Rechnung getragen werden.

Nehmen wir zu besserem Verständnisse einige Beispiele:

In mindestens 5 m Entfernung von dem Auge haben wir Sehzeichen aufgestellt und gut beleuchtet. Wir wählen dazu am besten die Tafeln, die zur Bestimmung der Sehschärfe dienen. Ein Auge, das auch die kleinsten Zeichen deutlich erkennt, beweist damit schon, dass es parallele Strahlen auf seiner Netzhaut zur Vereinigung bringen kann. Damit ist aber noch nicht gesagt, dass sein Fernpunkt in Unendlich liegt, die statische Refraktion des Auges Null, resp. Emmetropie ist. Dieselbe hätte, in der That, mit Hilfe der dynamischen Refraktion, d. h. der Akkommodation, auf Null gebracht werden können, während sie im Ruhezustande unter Null, negativ wäre (Hypermetropie). Der Beweis, dass wirklich Emmetropie besteht, ist erst dann erbracht, wenn, bei Ausschluss der Akkommodation, die Sehschärfe ihr Maximum beibehält.

Sieht aber das Auge durch vorgesetzte Konvexgläser ebenso scharf, ja noch schärfer als ohne Glas, so ist sicher Hypermetropie vorhanden. Die erst angestrengte Akkommodation hat nachgelassen, die erst durch sie bewirkte Korrektion der Ametropie, hat das Konvexglas übernommen.

Fig. 104.



Selbstredend lässt sich erst bei dem stärksten Konvexglase, das noch die beste Sehschärfe giebt, möglichste Erschlaffung der Akkommodation hoffen. — Nehmen wir an, dies sei Konvex 2 D, während mit + 2,25 die Sehschärfe schon etwas geringer wird. Der Fernpunkt des Auges $-R$ Fig. 104) liegt also hinter demselben, und zwar $\frac{1}{2}$ m von dem Korrektionsglase L entfernt.

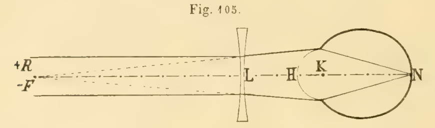
Die Refraktion des Auges ist also **negativ**, und wird ausgedrückt durch den Bruch $\frac{1}{R}$ oder $\frac{1}{RH} = \frac{1\,m}{LR - LH}$, wo $LR = 50$ cm.

Steht das Glas 1 cm vor der Hornhaut, so ist $HR = 50 - 1 = 49$ cm. Der Unterschied zwischen $\frac{100}{50}$ und $\frac{100}{49}$ ist sehr klein. Wir dürfen also die Refraktion des Auges der Brechkraft des Glases wohl gleich setzen, und herzhaft sagen, dasselbe hat eine Hypermetropie von 2 D.

Wäre das Glas unter denselben Umständen aber 10 D. stark, so dürften wir seine Entfernung von dem Auge nicht mehr vernachlässigen. LR wird dann 10 cm, und $LR - LH = 10 - 1 = 9$ cm, also $\frac{1}{LR - LH} = \frac{100}{9} = 11$ D.

Nehmen wir ein anderes Beispiel: Das Auge sieht nicht scharf in die Ferne ohne Glas, und noch weniger mit Konvexgläsern. Erst **Konkavgläser** bessern seine Sehschärfe, und mit — 2 erreicht dieselbe ihr Maximum. Daraus geht einmal hervor, dass wir es mit **positiver** Refraktion, mit **Myopie** zu thun haben, und, wenn wir sicher sind, dass das Auge sich im Ruhezustande befindet, dass sein Fernpunkt R (Fig. 105) $\frac{1\,m}{2}$ hinter dem Korrektionsglase liegt.

Fig. 105.



Lässt sich, wie in diesem Falle, die Entfernung des Glases vom Auge vernachlässigen, so werden wir sagen, das Auge hat eine Myopie von 2 D.

Hätten wir aber ein bedeutend stärkeres Glas gefunden, z. B. — 10 D. ($LR = 10$ cm), und ist $LH = 1$ cm, so ist $RH = 10 + 1 = 11$ cm, und die Myopie nicht 10, sondern $\frac{100}{11} = 9$ D.

Wir können auch, ähnlich wie oben, schreiben:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{RH} = \frac{1\,m}{RL + LH}.$$

Wie im Falle von Hypermetropie das stärkste Konvexglas den Grad der Ametropie angiebt, so thut es bei **Myopie** das **schwächste Konkavglas**. In der That ist es möglich, dass dasselbe Auge mit verschiedenen Konkavgläsern seinen höchsten Grad von Sehschärfe beibehält, wenn nämlich seine Akkommodation den Teil des Konkavglases neutralisiert, um welchen

dasselbe den Grad der Myopie, d. h. der statischen Refraktion des Auges, übertrifft.

Nehmen wir an, die Sehschärfe sei mit Konkav 2 und Konkav 3 am höchsten, erst mit Konkav 3,5 sinke sie etwas, so ist offenbar — 2 das korrigierende Glas, und hat der Patient, beim Sehen durch Konkav 3, eine Akkommodationsanstrengung von einer Dioptrie gemacht.

Aber auch so ist es, bei gesunden jungen Augen, noch fraglich genug, ob das stärkste Konvex- resp. das schwächste Konkavglas den wirklichen Grad der statischen Refraktion des Auges ausdrücke. Im Kindesalter ist fast immer ein gewisser Spasmus der Akkommodation vorhanden, welcher die Hypermetropie schwächer, die Myopie stärker erscheinen lässt, als sie in Wirklichkeit sind.

Donders hat denn auch mit Recht unterschieden zwischen manifester, latenter und totaler Hypermetropie.

Die manifeste Hypermetropie (H^m) ist die mit Brillengläsern oder Optometern subjektiv gefundene, die latente (H^l) diejenige, welche durch die Akkommodation verhüllt wird. Die totale (H^t) tritt erst bei vollkommener Entspannung der Akkommodation zu Tage:

$$H^t = H^m + H^l.$$

Selbstredend nimmt der latente Teil der Hypermetropie mit dem Alter, d. h. mit der Abnahme der Akkommodationsbreite, stetig ab, der manifeste in gleichem Maße zu, bis endlich, beim Verschwinden der Akkommodation (normalerweise im 70. Altersjahre), die totale Hypermetropie manifest wird. Der Spasmus der Akkommodation hört aber lange vor dieser Zeit schon auf, die Refraktionsprüfung zu stören.

In ähnlicher Weise müssen wir, bei jungen, akkommodationskräftigen Individuen, die scheinbare Myopie von der wirklichen Myopie trennen. Die erstere, welche die subjektive Optometrie ergiebt, ist in diesem Falle häufig durch einen Akkommodationskrampf erhöht. Erst Ausschluss der Akkommodation ergiebt den wirklichen Grad der Myopie.

Besäßen wir nicht, wie wir später sehen werden, eine objektive Methode der Refraktionsbestimmung, bei welcher die Akkommodation gewöhnlich erschlafft, so wären wir bei jungen Individuen genötigt, zu Mydriaticis Zuflucht zu nehmen, wenn die subjektive Prüfung ganz genaue Resultate ergeben sollte.

Es ist ein Hauptvorteil der eben besprochenen Refraktionsbestimmung, die wenigstens relative Erschlaffung der Akkommodation dadurch zu begünstigen, dass man den Untersuchten in die Ferne sehen lässt. Dabei stellen sich die Augen parallel und verringert sich, mit der Konvergenz, auch die Akkommodation. Freilich wird die Refraktion nicht binokular, d. h. auf beiden Augen gleichzeitig bestimmt, sondern, während der Untersuchung

des einen Auges, das andere verdeckt. Es geschieht dann auch häufig genug, dass, trotz des Sehens in die Ferne, konvergiert und stark akkommodiert wird, namentlich von jungen Hypermetropen. Tritt doch, wegen des Ausschlusses des einen Auges, trotz der fehlerhaften Richtung des Auges, kein Doppelsehen ein.

Hat man aber successive die Refraktion und Sehschärfe der beiden Augen bestimmt, so thut man gut, dieselben mit den korrigierenden Gläsern gleichzeitig in die Ferne sehen zu lassen. Sehr häufig nehmen dann junge Hypermetropen stärkere Konvexgläser an, ohne dass die Sehschärfe dadurch gestört würde, im Gegenteil. Dies ist ein Beweis dafür, dass sie bei der Einzelprüfung der Augen mehr akkommodiert haben, als beim binokularen Sehen[1].

Allerdings thun sie das weniger beim Sehen in die Ferne, als wenn sie das Prüfungsobjekt in der Nähe sehen, oder in der Nähe wähnen. Dies ist einer der Vorzüge dieser Methode der Optometrie. Ein noch größerer ist der, dass auf die Weise, außer der Refraktion, gleichzeitig auch die Sehschärfe bestimmt werden kann.

Da das Korrektionsglas nämlich ungefähr 13 mm vor der Hornhaut steht, so befindet es sich im vorderen Brennpunkte des Auges. In diesem Falle werden die Netzhautbilder der korrigierten Ametropen, wenn, wie gewöhnlich, die Ametropie auf Längenverschiedenheit des Auges beruht, gleichgroß wie die des emmetropischen Auges (34), d. h. untereinander vergleichbar[2].

§ 55. Die Gläser, welche zu dieser Methode der Refraktionsbestimmung dienen, befinden sich gewöhnlich in den bekannten Brillenkasten, und zwar hat sich, seit Einführung der Dioptrie, die damals schon adoptierte Serie von 30 Gläsern als wirklich praktisch erwiesen. Sie geht von 0,25 bis 20 D. Von Nummer 0,25 bis 3, haben die Gläser ein Intervall von $^1/_4$ D., von 3 bis 6 oder 6,5 ein solches von $^1/_2$ D., von da an bis 16 oder 17 D. ist das Intervall 1 D. Darauf folgen noch die Nummern 18 und 20 D.

Die Einfachheit, mit welcher die Meterlinsen miteinander kombiniert und ihre Nummern direkt zu einander addiert werden können, um das resultierende Glas zu ergeben, machen eine größere Zahl schwächerer Gläser überflüssig. Bei den stärkeren Nummern genügt eine geringe Verschiebung, um deren Einfluss auf das Auge zu verändern. (— 17 hart am Auge, wirkt wie — 18 in 5 mm vor dem Auge, oder wie — 20 in 10 mm vor demselben. Daraus geht aber auch die Notwendigkeit hervor, die Stellung dieser Gläser zum Auge genau zu kontrollieren.

---

1) Nach v. Reuss 85 soll beim monokularen Sehen bis auf 1,7 D. mehr akkommodiert werden, als beim binokularen.

2) Siehe Bestimmung der Sehschärfe des Auges.

Die Genauigkeit der Refraktionsbestimmung dürfte dagegen vielleicht doch noch einige Gläser mehr verlangen; gehören doch z. B. Myopien über 20 D. nicht zu den Seltenheiten, und darf, bei so starken Konkav- wie Konvexgläsern, wegen ihrer Dicke, die Kombination zweier Gläser durchaus nicht der Wirkung eines einzigen, welches die Summe der beiden Nummern tragen würde, gleichgesetzt werden.

Ferner wäre es sehr wünschenswert, die starken Gläser, z. B. von 15 D. an, nicht nur in bisphärischer, sondern auch in plansphärischer Form zur Hand zu haben. Dies im Interesse der Kombination von sphärischen mit cylindrischen Linsen. Gewöhnlich wird die Bestimmung der betreffenden Refraktionsfehler durch Aufeinandersetzen eines bisphärischen und eines plancylindrischen Glases vorgenommen. Das danach verschriebene Brillenglas muss aber betrachtet werden als hervorgegangen aus der Kombination zweier Linsen, die in einer planen Fläche miteinander verschmolzen sind. Giebt aber der Optiker dem plansphärischen Glase die nach einem bisphärischen verschriebene Brechkraft, so hat dasselbe in der gleichen Entfernung wie das letztere, in Bezug auf das Auge, eine um so verschiedenere Wirkung, je stärker es ist. Eine Plankonvexlinse, deren Konvexität vom Auge abgekehrt ist, wirkt stärker als eine bikonvexe, deren Trennungsebene mit der planen Fläche der ersten zusammenfällt. So entspricht z. B.

Plankonvex	11,5	bikonvex	12,
»	14	»	15,
	17,5	»	20.

Der Grund hiervon ist leicht einzusehen: Da die Gesamtwirkung der Plankonvexlinse in ihrer konvexen Fläche liegt, so kommt diese Wirkung, wenn die gewölbte Fläche vom Auge absteht, früher zur Geltung, als bei der bisphärischen Linse. Genauer ausgedrückt: Der Hauptpunkt der plansphärischen Linse liegt in deren gekrümmter Fläche, also in unserem Beispiele vor demjenigen der bisphärischen (148).

Es wäre um so leichter, solche plansphärische Gläser in den gewöhnlichen Brillenkasten einzuführen, als für so hohe Grade von Ametropie ein Glas genügt. Man könnte also einfach eines der beiden bisphärischen durch ein plansphärisches ersetzen.

Die Refraktionsbestimmung muss selbstverständlich je auf einem Auge allein vorgenommen werden. Zum Ausschlusse des anderen darf dasselbe aber nicht einfach geschlossen, oder mit der Hand verdeckt werden. Willkürliches Schließen des einen Auges ist häufig mit teilweisem Zukneifen des anderen verbunden, wodurch Astigmatismus mehr oder weniger korrigiert werden kann. Hält aber der Patient eine Hand vor das Auge, so drückt er gewöhnlich darauf, und beeinträchtigt dadurch die Sehschärfe desselben,

wenn man zu seiner Prüfung schreitet. In beiden Fällen aber ist man des vollkommenen Ausschlusses des scheinbar verdeckten Auges nie ganz sicher.

Es empfiehlt sich deshalb, bei dieser Methode der Optometrie, dem Untersuchten ein Brillengestell aufzusetzen, in welches man vor das zu schließende Auge ein schwarzes, nicht reflektierendes Diaphragma einführt, während die andere Fassung die Korrektionsgläser aufnimmt. Dieselben sollen in der That nicht einfach mit der Hand vor das untersuchte Auge gehalten werden, sondern, wenigstens wenn man dem Ziele nahe ist, in fester Stellung vor demselben angebracht werden.

Da es von großer Wichtigkeit ist, dass das Korrektionsglas im vorderen Brennpunkte des Auges, d. h. ungefähr 13 mm vor dessen Hornhaut stehe, und mit demselben centriert sei, so muss die »Probierbrille« eine genaue Anpassung an das Gesicht des Untersuchten gestatten. Die Gläser müssen einander genähert, oder voneinander entfernt, sie müssen höher oder tiefer gestellt werden können. Der Nasenbügel muss beweglich sein, um sich jeder Form des so vielgestalteten Organes anzupassen, und die gewünschte Annäherung der Gläser an die Augen zu gestatten.

Zur Bestimmung des Astigmatismus, muss die Fassung für jedes Auge zwei Gläser aufnehmen können, von denen sich das eine unabhängig vom anderen um seine Achse drehen lässt. Sehr wichtig ist es, dass die kombinierten Gläser einander möglichst nahe stehen; werden sie doch später in ein einziges Brillenglas zusammengeschliffen. Je größer aber der Abstand der Probegläser voneinander gewesen ist, desto weniger stimmt die Wirkung des danach verschriebenen Brillenglases mit derjenigen der Probekombination überein. Wir werden bei Anlass des Astigmatismus noch auf diesen wichtigen Punkt zurückkommen.

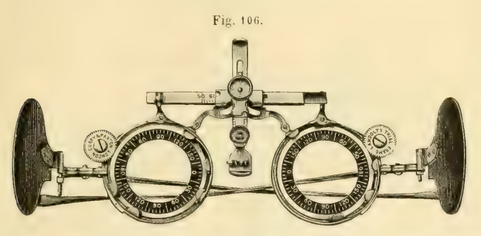
Von den vielen mehr oder weniger verschiedenen Probebrillen dieser Art erwähnen wir die von Rodenstock, Gutmann, Risley, Buller, Heddaeus, Ostwalt (158). Alle sind brauchbar, jede hat ihren kleinen Vorteil, doch sind die meisten derselben, um allen den erwähnten Erfordernissen gerecht zu werden, etwas schwer und schwerfällig geworden.

Die größte Schwierigkeit bereitet den Konstruktoren derselben das Schraubenwerk zur Regulierung der relativen Entfernung, der Höhe der Gläser, und der Drehung der Cylinder. Manche Probierbrillen werden dadurch so schwer, dass sie den Patienten empfindlich auf die Nase drücken, schwierig festzuhalten sind, und leicht vorn überkippen. Man hat deshalb, wie z. B. Schultze (173), Probierbrillen aus Aluminium hergestellt. Doch bleibt auch so das Schraubenwerk ein kompliziertes System.

Wir sind diesem Übelstande dadurch entgangen, dass wir die Schraubenstangen durch nebenstehende einfache Vorrichtung ersetzt haben (Fig. 106). Die Gläserfassungen für die beiden Augen sind miteinander verbunden einmal

durch zwei kurze, horizontale, ausziehbare Leisten, sodann durch zwei S-förmige Arme, deren oberer Teil einen Ausschnitt trägt. Die beiden Ausschnitte kreuzen sich miteinander sowohl, als mit der Querleiste, und werden am Kreuzungspunkte durch eine Schraube verbunden, die nur dazu dient, die drei Stücke in der gewünschten Stellung zu fixieren. In der That gestattet die Einrichtung, den Gläsern rasch und ohne besonderes Schraubenwerk die gewünschte gegenseitige Entfernung zu geben.

Fig. 106.



Über dieselbe Stellschraube gleitet aber auch eine vertikale Leiste, deren unteres Ende ein mobiles, leicht gekrümmtes Plättchen trägt, das auf den Nasenrücken zu liegen kommt. Dasselbe kann nicht nur höher und tiefer gestellt, sondern auch, mittelst eines kleinen Schräubchens, vor- und zurückgeschoben werden. So gelingt es, die Entfernung der Gläser von den Augen genau zu fixieren. Da das Nasenplättchen lose um die horizontale Achse drehbar ist, so legt es sich in jeder Stellung jedem Nasenrücken von selbst an. Die Gläserfassungen sind außerordentlich dünn, so dass kombinierte Gläser möglichst nahe aneinander zu liegen kommen.

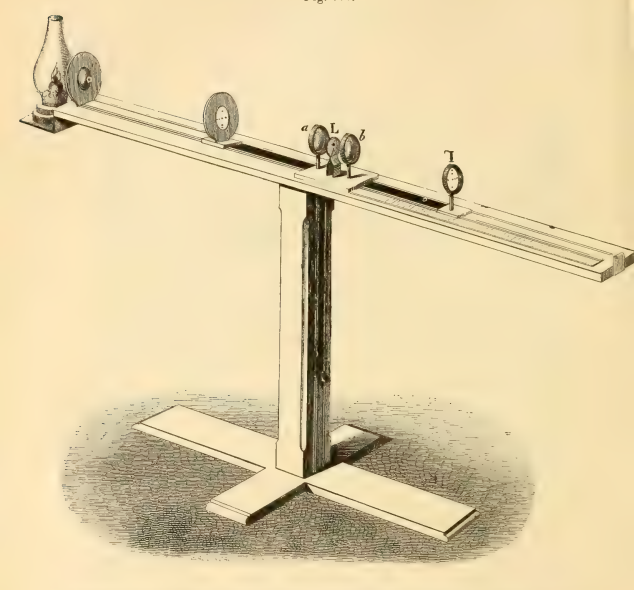
Die Fassung für Cylindergläser wird nicht durch eine beschwerliche Schraube, sondern durch ein dünnes Zahnrädchen gedreht, das der Untersuchte eventuell selbst in Bewegung setzen kann. Die Einteilung wird je nach Wunsch des Bestellers ausgeführt.

Das Brillengestell trägt endlich noch, an jeder Seite, ein leichtes Diaphragma, das, zum Ausschluss des einen oder anderen Auges, über dasselbe geklappt werden kann.

In Dimmer's Probierbrille (181), deren verschiedene Teile wie gewöhnlich mit Schrauben bewegt werden, lässt sich der Cylinder sowohl vor als hinter dem sphärischen Glase anbringen. — Heddaeus verlegt das Cylinderglas auf die Rückseite des sphärischen (179). — Zur Messung des Pupillarabstandes, beim Fern- wie beim Nahesehen, im Interesse richtiger Centrierung der Brillengläser, haben de Wecker und Masselon (145) ein Ophthalmostatometer konstruiert. Es besteht im wesentlichen aus zwei verschiebbaren

Rahmen, die je ein vertikal gespanntes Haar zum Visieren tragen. Auf dem dem Patienten abgekehrten Ende des Apparates, befindet sich ein Rahmen mit 3 Spalten. Die beiden äußeren dienen zum Visieren beim Blick in die Ferne, die mittlere beim Nahesehen. In ersterem Falle wird dem

Fig. 107.



Patienten, mit Hilfe eines Spiegels, ein entferntes Objekt zum Fixieren vorgeführt. Eine weitere Vorrichtung gestattet, die Höhe des Nasensteges, sowie die Lage der Brillenbranchen zu den Ohren zu bestimmen.

Einfacher, wenn auch weniger genau, ist Bunnstead's (178) »new centring instrument«. Es besteht in einem Nasenklemmer mit Fadenkreuz, das nacheinander vor jedem Auge mit einer entfernten Marke zur Deckung gebracht wird.

Die genaue Bestimmung der Stärke von Linsen kann mit SNELLEN's Phakometer (69) vorgenommen werden. Dasselbe beruht auf demselben Prinzip wie das Fokometer von SILBERMANN (4), nämlich darauf, dass eine Konvexlinse von einem um die doppelte Brennweite von ihr entfernten Gegenstande ein ihm gleichgroßes, und in derselben Entfernung liegendes Bild liefert. Das Instrument (Fig. 107) besteht aus einem Laufbrette, in dessen Mitte sich ein zur Aufnahme der zu untersuchenden Linse L bestimmter Halter befindet. Als Objekt dient ein Diaphragma mit kreuzförmig angeordneten Löchern, die durch eine kleine Lampe erleuchtet werden. Das Bild dieses Objektes wird auf dem matten Glase I entworfen. Objekt und Schirm sind an zwei gleichlangen Metallstreifen befestigt, die in dem Fuße des Apparates endigen, und, mit Hilfe eines Knopfes, voneinander entfernt, oder einander genähert werden können, so dass, bei jeder Stellung des Knopfes, Objekt und Schirm gleichweit von der Linse L entfernt sind. Da bei schwachen Linsen diese Entfernung übermäßig groß werden würde, sind zu beiden Seiten der Fassung L zwei Verstärkungslinsen (a und b) von 2,75 D. angebracht. Der Beobachter setzt sich hinter den Schirm I, und sucht die Stellung desselben auf, bei der das Bild am schärfsten ist. Ein Zeiger giebt dann, auf der Einteilung des Fußes, die Stärke der Linse in Dioptrien an. Zu gleicher Zeit lässt sich aber auch das optische Centrum der untersuchten Linse bestimmen. Das Bild der Punkte auf dem Schirm deckt sich nämlich nur in dem Falle mit den auf diesem von vornherein bezeichneten Punkten, wenn die optische Achse der Linse mit der des Apparates zusammenfällt. Die letztere wird durch einen an dem Linsenhalter befestigten Index bezeichnet. Die fragliche Linse wird nun so gestellt, dass die Punkte des von ihr gelieferten Bildes mit denen des Schirmes zusammenfallen. Dann giebt die Spitze des Index auf der Linse den Ort ihres optischen Centrums an. Das Instrument erlaubt Messungen bis zu $^1/_{10}$ D. Genauigkeit.

Die Einteilung ist für bikonvexe, symmetrische Linsen berechnet. Um plankonvexe, oder periskopische Gläser zu bestimmen, muss man zwei vereinigen, um ein symmetrisches System zu erhalten. Zur Bestimmung von Konkavlinsen, kombiniert man dieselben mit zwei Konvexlinsen gleicher Stärke, deren Summe die der Konkavlinse übertrifft.

§ 56. Bei der bisher besprochenen Methode der Optometrie werden, wie wir gesehen haben, Refraktion und Sehschärfe gleichzeitig, auf große Entfernung bestimmt. Das Gleiche lässt sich aber, auch auf kurze Entfernung erreichen (73. 86 und 124), wenn nur das korrigierende Glas im vorderen Brennpunkte des Auges steht, und die Sehproben der Entfernung entsprechend reduziert sind.

Bringen wir z. B. die Probeobjekte 233 mm vor die Hornhaut, so werden

sie nur einem Auge deutlich erscheinen, dessen Fernpunkt in dieser Entfernung liegt, das also eine Myopie von $\frac{1000}{233}$ hat.

Der Emmetrope braucht, zum Sehen in diese kurze Entfernung, ein Konvexglas, dessen Brennpunkt mit den Sehproben zusammenfällt. Steht dasselbe im vorderen Brennpunkte des Auges, so ist seine Brennweite 233 — 13 = 220 mm, seine Brechkraft = 4,5 D.

Zieht man diese 4,5 D. von dem Glase ab, welches, in diesem Punkte, das Auge auf die reduzierten Sehproben adaptiert, so erhält man das korrigierende Glas für die Ferne.

Ist dasselbe so schwach, d. h. ist seine Brennweite so groß, dass man seine Entfernung vom Auge vernachlässigen darf, so kann man es, wie in der erstbeschriebenen Methode, der Refraktion des Auges gleichsetzen.

Wer mit Konvex 6 die größte Sehschärfe erreicht, hätte also eine Hypermetropie von 6 — 4,5 = 1,5 D.

Konkav 0,5 ließe auf eine Myopie von — 0,5 — 4,5 = 5 schließen u. s. w.

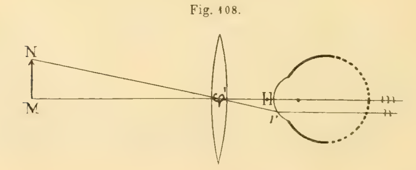
Um genau zu sein, muss man aber auch hier wiederum der Entfernung des Glases vom Auge Rechnung tragen.

Wie gesagt, werden bei dieser Stellung des Korrektionsglases die Netzhautbilder für Augen gleicher Brechkraft unabhängig von ihrer Achsenlänge gleichgroß.

Es lässt sich dies ohne Schwierigkeit beweisen.

Sei, in Fig. 108, Mm die dem Auge und der Linse gemeinschaftliche Achse, φ' der vordere Brennpunkt des Auges, mit welchem wir das optische

Fig. 108.



Centrum der Linse zusammenfallen lassen, MN ein Objekt, in beliebiger Entfernung von der Linse.

Das von dem kombinierten System Linse + Auge erzeugte Bild des Punktes M liegt irgendwo auf der Achse Mm.

Ein vom Punkte N ausgehender, nach dem optischen Centrum φ' der Linse gerichteter Strahl Nr, geht ungebrochen durch dieselbe, und trifft in r die Hauptebene des Auges. Da er aber zugleich von dessen vorderem

Brennpunkte φ' herkommt, geht er, im Auge, der Achse parallel, in der Richtung vn weiter.

Auf dieser Linie vn liegt also das von dem kombinierten Systeme entworfene Bild des Punktes N, und zwar selbstverständlich in derselben Entfernung wie dasjenige des Punktes M. Da aber Hm und vn parallel sind, so ist das Bild von MN überall dasselbe, wo es auch zu stande komme.

Die Netzhautbilder der emmetropischen, wie die der achsenametropischen Augen sind einander gleich, aber nicht, wie bei der Prüfung in großer Entfernung, gleich denen des emmetropischen, akkommodationslosen, nackten, sondern denen des emmetropischen, akkommodationslosen, mit dem Konvexglase bewaffneten, oder des achsenmyopischen, im Ruhezustande auf die Entfernung HM eingestellten Auges. Dies ist bei der Reduktion der Sehproben für unser Optometer nicht zu vergessen.

Um die Akkommodation beim Sehen auf so kurze Distanz möglichst auszuschließen, empfahlen wir, die Sehproben, weiß auf schwarz, im Grunde eines Stereoskopenkastens, dem zu untersuchenden Auge gegenüber anzubringen, während dem nicht untersuchten ein schwarzes Feld dargeboten wird. Beide Felder sind von weißen Kreisen umgeben, welche zu stereoskopischer Verschmelzung gebracht werden müssen. Enthält das Stereoskop keine Prismen, sondern nur diejenigen Gläser, welche die Augen auf dessen Grund adaptieren, so tritt diese Fusion nur dann ein, wenn die Augen parallel stehen. Damit wird aber auch die Akkommodation erschlafft.

Nach dem gleichen Prinzipe hat Loiseau (79) ein Optometer konstruiert. Es besteht in einem Rohre von 9 cm Länge und $2^1/_2$ cm Durchmesser. In dasselbe wird ein zweites Rohr eingeführt, welches die durchsichtigen Sehproben trägt, worunter auch eine Strahlenfigur zur Bestimmung des Astigmatismus. Das Probetäfelchen kann von dem Okularende des Instrumentes bis auf 10 cm entfernt, und demselben bis auf 5 cm genähert werden. Vor dem Okularende drehen sich zwei excentrische, linsentragende Scheiben so, dass jeweilen eine Öffnung der einen mit einer der anderen, in der Achse des Instrumentes zur Deckung kommt. Die eine Scheibe enthält, außer einer freien Öffnung, die Konvexgläser 5—15, die andere + 10, + 20, — 10 und + 0,5. Die Gläser können also einzeln oder kombiniert vor das zu untersuchende Auge gebracht werden.

Ein darunter befindlicher Knopf wird auf den Orbitalrand des Patienten gestützt, damit die Linsen möglichst in den vorderen Brennpunkt des Auges zu liegen kommen. Später hat der Autor die zwei Drehscheiben seines Optometers durch zwei einfache Fassungen für gewöhnliche Brillengläser ersetzt.

Burgl (93) hat ein sogenanntes Optometer hauptsächlich für die Untersuchungen der Militärpflichtigen angegeben. Es besteht in einem zusammenlegbaren Kasten von 15, 12 und 3 cm Dimensionen.

Die verschiebbare Rückwand trägt die Sehproben, die Vorderwand, hinter der Okularöffnung, eine Scheibe mit 4 Gläsern, die einzeln vor das Auge gebracht werden. Es sind dies: ein Planglas, ein Konvexglas von 15 cm und eines von 9 cm Brennweite, und ein Konkavglas von 15 cm Brennweite. Zu jedem Glase gehört eine Skale, welche die der jeweiligen Stellung des Sehobjektes entsprechende Refraktion angiebt. Die Verschiedenheit der Vergrößerung, welche durch die Ametropie bedingt wird, ist nicht berücksichtigt.

Um das Wechseln der Gläser mit der Hand zu vermeiden, hat man die Gläser des Brillenkastens in Ringe oder Scheiben gefasst, die durch Drehung um ihre Achse das Vorbeiführen der Gläser vor dem zu prüfenden Auge gestatten.

Fig. 109.



So hat schon vor vielen Jahren de Wecker zwei isolierte, auf Stativen getragene Reife konstruieren lassen, von denen der eine konvexe, der andere konkave Gläser enthält, die durch Drehung des Reifes um seine Achse, vor dem zu untersuchenden Auge vorbeipassieren.

Als Prototyp dieser Instrumente geben wir hier dasjenige von COUPER (Fig. 109).

Es besteht hauptsächlich in zwei hart aneinander liegenden Ringen von 43 cm Durchmesser. Der eine enthält, außer einer freien Öffnung, 62 sphärische, der andere 36 cylindrische Gläser, von 2 cm Durchmesser. Die Wahl derselben wird durch die Fabrikanten CURRY und PAXTON in London in gefälliger Weise dem Besteller überlassen. Nur verlangt die Einteilung des Instrumentes, dass dasselbe die gleichen Nummern konvexer wie konkaver Gläser enthalte.

Wir haben folgende Serie als praktisch erfunden:

Sphärisch konvex und konkav

von 0 bis 2 mit einem Intervall von $^1/_4$ D.,
» 2 » 7 » » » » $^1/_2$ D.,
» 7 » 18 » » » » 1 D.,

dazu die Nummern 20 u. 25.

Cylinder, konvex wie konkav:

von 0 bis 2 mit einem Intervall von $^1/_4$ D.,
» 2 » 6 » » » » $^1/_2$ D.,
» 6 » 9 » » » » 1 D.

Die Ringe stehen senkrecht, und sind durch ein solides Stativ auf einem Tischchen fixiert. Dasselbe trägt einen Ausschnitt für die Brust des zu Untersuchenden, während dessen Arme bequem auf den Seitenteilen des Tischblattes ruhen. In dieser Stellung kommt das eine oder das andere Auge des Patienten, in natürlicher Weise einer der Öffnungen gegenüber zu liegen, von denen die Ringe je eine an den beiden Extremitäten des horizontalen Meridianes tragen. Das nicht untersuchte Auge wird durch eine Klappe verdeckt. Eine Kurbeleinrichtung gestattet, die sphärischen Gläser, mit Hilfe eines bis auf 120 cm ausziehbaren Armes, vor dem untersuchten Auge vorbeizudrehen. Der Arm ist mit dem Apparate durch ein Kugelgelenke so verbunden, dass ihn der Untersucher sitzend oder stehend rechts, wie links vom Patienten, manipulieren kann. Die Nummer des jeweilen eingestellten Glases kommt an einer besonderen Scheibe zum Vorschein. Ihre Farbe zeigt an, ob dasselbe konkav oder konvex ist.

Der Ring mit den Cylindergläsern wird durch einen kurzen Hebel in Bewegung gesetzt. Die Fassung jedes Cylinders trägt ein Zahnrad. Alle diese Räder greifen so ineinander, dass sie sich von einem einzigen Punkte aus, gleichzeitig und gleichmäßig um ihre Achse drehen lassen. Der Neigungswinkel der Cylinderachse wird durch drei, am inneren Rand der Ringe angebrachte Einteilungen angegeben. Er gilt selbstverständlich für die Lage, welche der Cylinder inne hat, wenn er vor dem untersuchten Auge steht. Auch die Einteilung wird nach dem Wunsche des Bestellers

ausgeführt. Wir haben, aus später noch anzuführenden Gründen, den vertikalen Meridian mit 0 bezeichnet, und von da an die Einteilung auf beiden Seiten von 5 zu 5°, symmetrisch bis 90° gehen lassen. Die Cylinder befinden sich auf der dem Patienten abgekehrten Seite.

Vor der Okularöffnung lässt sich ein horizontaler, eingeteilter Arm einsetzen, auf dem Sehproben zur Prüfung in der Nähe gleiten.

Auch zur Skiaskopie kann man diesen Apparat vortrefflich verwenden.

Ähnliche, wenn auch weniger vollständige, dafür kleinere Apparate zur Refraktionsbestimmung, sind angegeben worden von Lessing (160), Parent (191), Fitzgerald (131) u. a.

Der Nachteil dieser Apparate ist der, dass dabei die Entfernung vom, namentlich aber die Richtung des Auges zum Korrektionsglase sehr schwer richtig festzuhalten ist. Auch wenn man die Patienten dazu bringt, ihren Kopf hart an die Optometerfassung zu legen, so haben sie doch immer eine Tendenz, schief durch das Glas zu sehen. So wird sehr häufig Astigmatismus vorgetäuscht; und vorhandener Astigmatismus ist, bei der unsteten Lage des Auges zum Glase, äußerst schwierig zu bestimmen.

Allerdings können die so gefassten Brillengläser sehr rasch vor dem Auge herumgeführt werden. Dies ist jedoch im Grund kein so großer Vorteil, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte. Die Praxis giebt dem Ophthalmologen so viele Mittel an die Hand, die Refraktion eines Patienten ungefähr zu schätzen, dass er, weit entfernt, alle Nummern des Brillenkastens durchprobieren zu müssen, in wenig Zügen schon das richtige Glas herausfindet, so dass bei der Führung mit der Hand die Gläserwahl wohl ebenso rasch vor sich geht, wie mit Hilfe einer Drehscheibe.

Die Leichtigkeit, mit welcher die nach Dioptrien nummerierten Gläser kombiniert werden können, hat zu mannigfaltigen Reduktionen des Brillenkastens Veranlassung gegeben.

So enthält z. B. Schulek's (116) »kompendiöser Brillenkasten« nur die folgenden 9 konvexen und 9 konkaven Nummern: 0,25, 0,5, 0,75, 1, 2, 3, 4, 5 und 8, aus denen man, in zwei Reihen, 25 verschiedene Wirkungen kombiniert.

Donberg's (143) Brillenkasten enthält, neben den genannten, noch die Nummern 10, 12 und 14, sowie die konkaven und konvexen Cylinder 0,25, 0,5 1, 2, 3 und drei Prismen.

Chibret (142) kombiniert, mit Konvex und Konkav 1, 2, 4 und 8, sämtliche Gläser von 1 bis 15 D. Ihre Fassungen sind an einer Achse befestigt, um die sie sich unabhängig voneinander drehen lassen.

Peltzer (92) hat, hauptsächlich zur Seh- und Refraktionsprüfung bei der Rekrutenaushebung, 32 Brillen in 8 Brillenstäbe zusammengestellt.

Hersing (180) verwendet vier kreisförmige Scheiben, von denen je zwei, miteinander verbunden, übereinander gleiten, zur Kombination der Gläser.

die sie tragen. Zwei der Scheiben enthalten konkave, zwei konvexe Gläser, und zwar die Nummern 1, 2, 3 und 4; die zwei anderen Scheiben enthalten die Nummern 0,25, 0,5, 0,75 und 9.

Die Scheiben werden in einer Tasche getragen, die zugleich ein rotes Glas, Prismen, eine stenopäische Spalte, ein Bandmaß, einen Augenspiegel und Sehproben enthält.

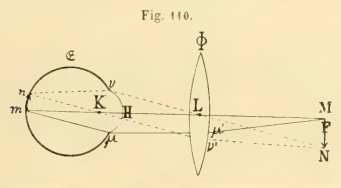
Optometrie mit Hilfe einer einzigen Konvexlinse.

§ 57. Die eben besprochene Methode der Optometrie mittelst Brillengläser beruht darauf, die Richtung der von einem in bestimmter Entfernung stehenden Objekte ausgehenden Strahlen, durch die vor das Auge gesetzten Gläser so zu modifizieren, dass sie von dessen Fernpunkte herzukommen, resp. auf denselben zu konvergieren scheinen, und infolgedessen auf der Netzhaut des Auges zu einem scharfen Bilde vereinigt werden.

Diese Modifikation der Richtung einfallender Strahlen lässt sich auch mit einer einzigen Konvexlinse bewerkstelligen (124).

Es stehe eine solche Konvexlinse Φ (Fig. 110) in bestimmter Entfernung vor dem Auge 𝔈, und ihre Achse falle mit der des letzteren zusammen. L sei ihr optisches Centrum, F ihr Brennpunkt.

Fig. 110.

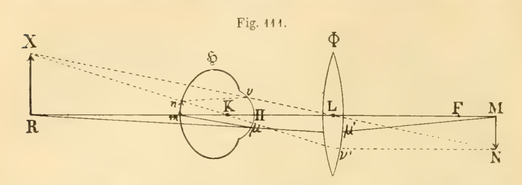


Befindet sich ein Objekt MN in der Brennebene der Linse (Fig. 110), so haben die von den verschiedenen Punkten desselben ausgehenden Strahlen, nach ihrem Durchgang durch die Linse, die parallele Richtung, welche ein emmetropisches Auge verlangt, um ein scharfes Netzhautbild zu erhalten. So geht z. B. von M aus ein Strahl $MLKm$, der Achse entlang, ungebrochen nach der Netzhaut des Auges 𝔈, ein anderer, $M\mu'$, verfolgt seinen Weg, nach Durchgang durch die Linse, dem ersteren parallel nach μ, und wird im Auge ebenfalls nach m hin gebrochen. In gleicher Weise lässt sich das Netzhautbild n des Punktes N konstruieren.

Je weiter das Objekt von dem Brennpunkte abrückt, desto mehr konvergieren die davon herkommenden Strahlen, nach ihrem Durchgang durch die Linse. Auf diese Weise erhält man also Strahlen, wie sie das hyperopische Auge braucht.

Sei $\mathfrak{H}$ (Fig. 111) ein solches hyperopisches Auge, mit seinem Fernpunkte in R. Auf der Achse giebt es nun einen Punkt M, so gelegen, dass die von ihm ausgehenden Strahlen, durch die Linse Φ, nach R hin gebrochen werden. Es ist dies der mit R konjugierte Brennpunkt. Treffen diese Strahlen das Auge $\mathfrak{H}$, so werden sie von demselben noch stärker

Fig. 111.

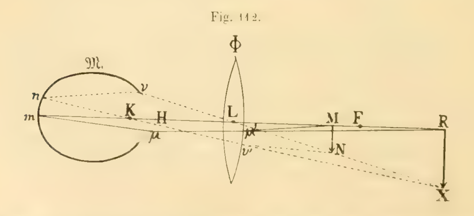


gebrochen: statt von H und μ nach R zu gehen, gehen sie nach m, und werden also auf der Netzhaut zu einem scharfen Bilde vereinigt. Dasselbe geschieht mit den von N ausgehenden Strahlen: Die Linse allein würde sie in X vereinigen. Das dahinter stehende hyperopische Auge aber vereint sie auf seiner Netzhaut, in n. Ist MN ein Objekt, so ist mn sein Netzhautbild.

Je weiter M von F abrückt, desto mehr rückt R der Linse, resp. dem Auge zu, desto stärker wird die Konvergenz der die Linse verlassenden Strahlen. Es lässt sich also der Grad der Hypermetropie auf diese Weise leicht bestimmen.

Bringt man, umgekehrt, das Objekt vom Brennpunkte her, der Linse näher (Fig. 112), so werden die von jedem Punkte desselben herkommenden

Fig. 112.



Strahlen, nach ihrem Durchgange durch die Linse, wenn auch weniger als vorher, doch immer noch divergieren, und zwar umsomehr, je näher das Objekt der Linse steht.

So werden (Fig. 112) die von M ausgegangenen Strahlen von R, die von N ausgegangenen von X herzukommen scheinen.

Ein kurzsichtiges Auge $\mathfrak{M}$, dessen Fernpunkt in R liegt, wird also von dem Objekte MN ein scharfes Netzhautbild mn erhalten.

Nichts ist leichter, als für eine gegebene Linse, und eine gegebene Entfernung derselben von dem Auge, eine Skala zu berechnen, welche, für jeden Abstand des Objektes von der Linse, die Natur und den entsprechenden Grad der Refraktion des Auges angiebt; sind doch, wie wir eben bemerkt haben, der Ort des Objektes und der Fernpunkt des Auges konjugierte Brennpunkte, für welche die bekannte Formel gilt:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{A} + \frac{1}{B},$$

worin F = Brennweite der Linse, A = Entfernung des Objektes, B = Entfernung des Bildes von derselben. Zur genauen Berechnung der Refraktion hat man selbstverständlich der Entfernung der Konvexlinse vom Auge Rechnung zu tragen. Bezeichnen wir sie mit X, und die Entfernung des Fernpunktes vom Auge mit R, so ist, für Hypermetropie, $R = B - X$, für Myopie $R = B + X$.

$\frac{1}{R} = r$ in beiden Fällen die Refraktion des Auges.

Es ist denn auch das Prinzip einer einzigen Konvexlinse, seit langer Zeit, zur Konstruktion von Optometern verwendet worden (Coccius, v. Hasner, Smee, v. Graefe, v. Burow, Donders, Lawrence, Badal, Burchardt, Sous, Carreras y Arago u. a.). Doch haben nicht alle derselben den gleichen praktischen Wert. Bei den ersten Instrumenten dieser Art, stand die Linse dem Auge sehr nahe. Dadurch werden die, gleichen Refraktionsunterschieden entsprechenden Teile der Skala sehr ungleich, und zwar um so kleiner, je höher der Grad der Ametropie ist, größer und größer für die niedrigen Grade.

Ein viel bedeutenderer Nachteil der so konstruierten Optometer aber ist der, dass sie Augen mit verschiedener Refraktion, verschieden große Netzhautbilder liefern. Gelingt es dann auch, den Refraktionszustand zu finden, so lässt sich damit nicht gleichzeitig auch die Sehschärfe bestimmen.

Einfache mathematische Überlegungen zeigen nun: einmal, dass, wenn der Brennpunkt der Konvexlinse mit irgend einem der vorderen Kardinalpunkte des Auges zusammenfällt, gleichen Verschiebungen des, bei ruhender Akkommodation, scharf gesehenen Objektes längs der optischen Achse, gleiche Refraktionsunterschiede des untersuchten Auges entsprechen (97b).

Für je eine Dioptrie Ametropie, verschiebt sich der Punkt, auf welchen das Auge eingestellt ist, um das Quadrat der Brennweite (F) der

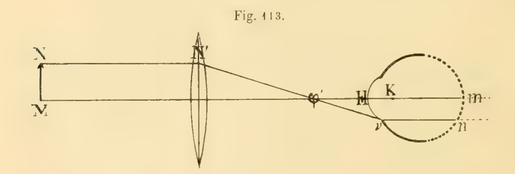
in Fraktionen des Meters ausgedrückten Optometerlinse. So entspricht beispielsweise, für eine so gestellte Linse von 10 D. ($F = 0{,}10$ m), jeder Centimeter der Skala einer Dioptrie Ametropie (Bravais).

Ferner: Je nachdem der Brennpunkt der Optometerlinse zusammenfällt mit dem vorderen Brennpunkte, dem Hauptpunkte, oder dem Knotenpunkte des Auges, giebt die gefundene Verschiebung des Sehzeichens, den Grad der Ametropie an in Beziehung auf den entsprechenden Kardinalpunkt, resp. das in diesem Punkte aufgestellte Korrektionsglas.

Wird auf diese Weise schon die Bestimmung des Refraktionszustandes genauer, so lässt sich, bei einer gewissen Stellung der Optometerlinse, der noch bedeutendere Vorteil gleichgroßer Netzhautbilder erreichen. Dies findet statt, wenn der Brennpunkt der Linse mit dem vorderen Brennpunkte des Auges zusammenfällt.

Dies folgt aus der Thatsache, dass, wenn zwei centrierte optische Systeme so zusammengestellt sind, dass der hintere Brennpunkt des einen mit dem vorderen Brennpunkte des anderen zusammenfällt, Strahlen, die im ersten Systeme parallel waren, auch im zweiten parallel sind.

Fig. 113.



Sei (Fig. 113) φ' zugleich der Brennpunkt der Optometerlinse und der vordere Brennpunkt des Auges, MN ein Objekt.

Wo auch das Bild des Punktes M zu stande komme, es wird jedenfalls auf der Achse Mm liegen.

Andererseits wird ein von N ausgehender, der Achse paralleler Strahl NN', ob das Objekt näher oder ferner stehe, immer durch den Brennpunkt φ' derselben gehen ($N'v$), und, weil φ' zugleich der vordere Brennpunkt des Auges ist, im Inneren desselben der Achse parallel weiter gehen (vn).

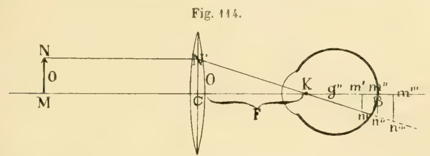
Also, wo auch das Bild von N zu stande komme, es wird immer auf der Linie vn liegen.

Da aber vn und Hm parallel sind, so ist das Bild von MN überall gleichgroß.

Fällt der Brennpunkt der Optometerlinse mit dem vorderen Hauptpunkte H des Auges zusammen, so ist die Bildgröße proportional der Hauptpunkt-Netzhautdistanz, resp. der Länge des auf eine einzige brechende Fläche reduzierten Auges.

Fällt der Brennpunkt der Optometerlinse mit dem ersten Knotenpunkte K' des Auges zusammen, so erscheint das Objekt immer unter demselben Gesichtswinkel, aber seine Netzhautbilder sind, je nach dem Refraktionszustande des Auges, verschieden groß.

Fig. 114.



Sei (Fig. 114) K zugleich der Brennpunkt der Linse und der Knotenpunkt des Auges, MN wiederum ein Objekt. Wo dasselbe sich auch befinde, das Bild von M wird immer auf der Hauptachse Mm''', das von N auf der sekundären Achse $N'n'''$ zu stande kommen. Je nachdem die Netzhaut in m', in m'' oder in m''' liegt, ist das Bild also $m'n'$, $m''n''$, oder $m'''n'''$.

Seine Größe ist also je nach der Länge des Auges verschieden, und berechnet sich mit Hilfe der zwei rechtwinkligen ähnlichen Dreiecke, die in K zusammenstoßen.

Sei B die Größe des Bildes, O die Größe des Objektes ($MN = CN'$), g'' die Entfernung des Knotenpunktes vom Orte des Bildes, $F = CK$ die Brennweite der Linse, so ist:

$$B : O = g'' : F,$$

$$B = \frac{O \cdot g''}{F}.$$

Da in diesem Ausdrucke O und F konstant sind, so hängt also die Größe des Bildes allein ab von g'', d. h. von der Knotenpunkt-Netzhautdistanz, der sie proportional ist.

Eines der bekanntesten, auf dem Prinzipe einer einzigen Konvexlinse beruhenden Optometer, ist das von Badal (65 und 177). Es enthält eine Linse von 0,063 m Brennweite (16 D.). Zum Quadrat erhoben, ergiebt diese Zahl 0,004. Jede Verschiebung des Objektes um 4 mm entspricht also einer Dioptrie Refraktionsunterschied des untersuchten Auges.

Die Linse war im ersten Modelle des Instrumentes so gestellt, dass ihr Brennpunkt mit dem Knotenpunkte des untersuchten Auges zusammenfiel.

Die Netzhautbilder wurden also, je nach der Ametropie desselben, verschieden groß, und das Instrument entsprach nicht seinem Titel, nach welchem damit Refraktion und Sehschärfe gleichzeitig sollten gemessen werden können.

Erst später hat der Autor sein Optometer so modifiziert, dass man den Brennpunkt der Linse auch mit dem vorderen Brennpunkte des Auges zusammenfallen lassen kann.

Das Sehobjekt wird gebildet durch auf mattes Glas photographierte Sehproben. Sie können, mittelst eines 30 cm langen, in der Optometerröhre gleitenden Tubus, der Linse näher und ferner gebracht werden. So lässt sich die Wirkung von Korrektionsgläsern erzeugen für Hypermetropie 15 D. bis Myopie 20 D. — Das Optometer wird von einem Fuße getragen, mit welchem es durch ein Kniegelenk verbunden ist.

Hintzy (91), sowie Carreras y Arago, haben dem Badal'schen ganz ähnliche Optometer, sogar mit derselben Konvexlinse (+ 16), hergestellt.

Burchardt (72) benutzt zur Optometrie eine einfache Linse von 20 D., die an einer graduierten Stange so befestigt ist, dass deren Brennpunkt mit dem Knotenpunkte des Auges zusammenfällt. Jenseits der Linse befindet sich eine der Stange entlang verschiebbare Klammer, welche die Sehproben trägt. Dieselben bestehen in einer Reduktion von Burchardt's Tüpfelgruppen (siehe Prüfung der Sehschärfe). Die Normalzählweiten sollen von 10—100 cm gehen.

Jeder Dioptrie Refraktionsunterschied entsprechen 2,5 mm der Skala. Dieser Wert ist wohl etwas klein. Die Messung wird genauer mit einer Linse von 10 D., wobei die den Dioptrien entsprechenden Teilstriche der Skala 1 cm Abstand bekommen.

Sous (96) benutzt zur Bestimmung der Refraktion — aber mit Ausschluss der Bestimmung der Sehschärfe — ein starkes Konvexglas, das er dem Patienten in einem gewöhnlichen Brillengestelle vorsetzt. Dann lässt er ihn die größte Distanz aufsuchen, in welcher er Druckschrift zu lesen im stande ist. Sei D diese Distanz, $\frac{1\text{ m}}{D} = d$ der entsprechende Wert in Dioptrien. Sei f die Brechkraft der Linse, so ist $f - d = r$ die Refraktion des Auges, bezogen auf den Ort der Konvexlinse.

In analoger Weise hat Seggel (106) ein Optometer konstruiert dessen Skaleneinheit jedoch nur 2,5 mm beträgt. Dagegen bietet es den Vorteil, dass die Okularlinse in drei verschiedene Entfernungen vom Auge gebracht werden kann, so dass ihr Brennpunkt entweder mit dem vorderen Brennpunkte des Auges, mit dessen Haupt-, oder mit dessen Knotenpunkt zusammenfällt. — Um die Akkommodation auszuschließen, hat der Erfinder seinem Optometer ein zweites, blindes Rohr hinzugefügt, so dass der Untersuchte beide Augen offen behält, und infolgedessen eher geneigt ist, seine Akkommodation zu entspannen.

Optometer, beruhend auf dem Prinzipe des Galiläi'schen, oder terrestrischen Fernrohres.

§ 58. Galiläi's Fernrohr besteht bekanntlich in der Kombination eines starken konkaven Okulares mit einer schwächeren konvexen Objektivlinse, deren Entfernung von dem ersteren verändert werden kann, um Augen verschiedener Refraktion für entfernte Objekte zu adaptieren, und ihnen von denselben vergrößerte Netzhautbilder zu liefern.

Ist die Entfernung der beiden Linsen voneinander gleich dem Unterschiede ihrer Brennweiten, so treten die von einem entfernten Objekte kommenden Strahlen parallel aus dem Okular ins Auge, denn in diesem Falle coincidieren die Brennpunkte der beiden Linsen. Wird das Konvexglas weiter abgerückt, so konvergieren die Strahlen, nähert es sich dem Konkavglase von obiger Stellung aus, so divergieren sie.

Es ist also leicht, auf diese Weise diejenige Richtung der Strahlen herzustellen, die ein Auge zum scharfen Sehen braucht, und mithin, durch die Modifikation der gegenseitigen Entfernung der Linsen des Galiläi'schen Fernrohres, die Refraktion eines Auges zu bestimmen.

Schon v. Graefe hat denn auch dies Prinzip zu seinem »Refraktometer« verwendet. Das Instrument bestand aus einem langen, von einem Stative getragenen Rohre, welches ein mobiles, konvexes Objektiv von 4,5 D. enthielt. Als Okular dienten Konkav 5 D., 11 D., oder 20 D. Jeder dieser drei Linsen entsprach eine besondere Einteilung des Instrumentes. Das Objekt bildeten in großer Entfernung aufgestellte Sehproben.

In ähnlicher Weise hat Zeng (207) eine verschiebbare Objektivlinse von 10 D. mit einem Okulare von entweder 10 oder 20 D. verbunden.

Da das Galiläi'sche Fernrohr die beobachteten Objekte bedeutend vergrößert, so kann es selbstverständlich nicht direkt auch zur Sehprüfung verwendet werden. Der Autor gab deshalb seinem Instrumente eine $2^1/_3$ mal verkleinerte, Snellen'sche Sehprobetafel bei. Sie sollte, durch sein Optometer gesehen, unter dem normalen Gesichtswinkel erscheinen.

Snellen (61) suchte diesem Übelstande dadurch abzuhelfen, dass er die vergrößernde Wirkung des Instrumentes sehr reduzierte. Er kombinierte zu diesem Zwecke Konkav 40 mit Konvex 20, in umstehender Form, zu einem binokularen Optometer (Fig. 115).

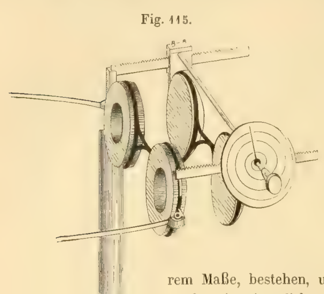
Sind die beiden Gläser in Kontakt, so entspricht ihre Wirkung also — 20 D.; 27 mm voneinander entfernt, heben sie sich auf; bei noch größerem Abstande, tritt positive Wirkung zu Tage. Allerdings zieht der Autor vor, für Hypermetropie, das Konkavokular 40 durch Konkav 20 zu ersetzen.

Mit der größeren Stärke der beiden Gläser wird allerdings die dadurch hervorgerufene Vergrößerung kleiner, aber auch die Genauigkeit der

Refraktionsbestimmung geringer, entsprechend der geringeren Exkursion zwischen den beiden Gläsern.

Snellen hat, um die daraus entspringende Fehlerquelle zu verringern, die Einteilung des Instrumentes nicht auf einer geraden Leiste, sondern auf einer Spirale angebracht. Außerdem ist zu bedenken, dass nicht die Vergrößerung als solche ein Hindernis für die Bestimmung der Sehschärfe ist — man brauchte ja nur die Sehproben entsprechend zu verkleinern, oder dem Instrumente eine Reduktionstafel beizugeben — sondern die Ungleichheit der Vergrößerung für Augen verschiedener Refraktion. Dieselbe bleibt auch bei der Verkürzung des Instrumentes, wenn auch in geringerem Maße, bestehen, und macht dasselbe zur Sehprüfung im eigentlichen Sinne des Wortes untauglich.

Fig. 115.



In der That müsste sich die Berechnung der Reduktion nicht auf die durch das Instrument hervorgebrachte Vergrößerung des Gesichtswinkels beziehen, sondern auf die Größe der Netzhautbilder, welche Augen verschiedener Refraktion damit erhalten.

Das Optometer von Perrin und Mascart (33) stellt ein umgekehrtes Galiläi'sches Fernrohr dar: Das Okular ist konvex, das Objektiv konkav. Ersteres hat 80 mm, letzteres 40 mm Brennweite. Die beiden Linsen befinden sich in einem 160 mm langen Tubus. An dem, dem Auge abgekehrten Ende, sind die Sehproben, durchsichtige Figuren auf schwarzem Grunde, angebracht. Das zu untersuchende Auge wird darauf adaptiert durch die Verschiebung der Konvexlinse, welche mittelst eines Zahnrades bewerkstelligt wird. Die jeweilige Stellung derselben ergiebt die Refraktion des Auges, welche am Instrumente abzulesen ist.

E. Starr (138) kombiniert ein konvexes Okular von 16 D., in 8 cm vor dem Auge, mit einem konkaven Objektive von ebenfalls 16 D., und lässt dadurch nach entfernten Sehzeichen schauen. Zur Produktion positiver Wirkungen, wird das Konkavglas vom konvexen abgerückt, für negative Wirkung, wird dem Auge noch ein zweites Konkav 16 vorgesetzt.

Auch mit diesen Instrumenten lässt sich die Sehschärfe nicht genau bestimmen.

Optometer, beruhend auf dem Prinzipe des astronomischen Fernrohres.

§ 59. Dies Prinzip wird dargestellt durch zwei konvexe Linsen. Die eine entwirft, von dem entfernten Objekte, ein reelles umgekehrtes Bild, welches durch die andere betrachtet wird.

Tritt paralleles Licht in das Objektiv, so verlässt es das Okular parallel, wenn der hintere Brennpunkt des ersteren mit dem vorderen des zweiten zusammenfällt.

Ist die gegenseitige Entfernung der beiden Linsen größer, als die Summe ihrer Brennweiten, so sind die austretenden Strahlen konvergent, ist sie kleiner, divergent. Durch die Veränderung des gegenseitigen Abstandes der beiden Linsen lässt sich das Instrument also jedem Refraktionszustande des Auges anpassen, resp. jeder Refraktionszustand bestimmen.

Ist f' die Brennweite des Objektives,
f'' die Brennweite des Okulares,
D der gefundene Abstand beider Linsen voneinander,
d der Abstand des Okulares vom Auge,
r der Fernpunktsabstand des untersuchten Auges, vor dem Auge als positiv betrachtet, dann ist die Refraktion des untersuchten Auges:

$$\frac{1}{r-d} = \frac{1}{D-f'} - \frac{1}{f''}.$$

Mit Hilfe dieser Formel lässt sich die Skale des Instrumentes berechnen.

Nach diesem Prinzipe hat Hirschberg (71) ein Optometer konstruiert. Das Objektiv hat 40,5 mm Brennweite, das Okular 27 mm.

Das Instrument wird nach irgend einer der bekannten Sehprobetafeln gerichtet, die in der Ferne — und zwar umgekehrt — aufgehängt wird, damit das Bild sich dem Beobachter aufrecht darstelle.

Der Autor hebt an seinem Instrumente einen besonderen Vorteil hervor: Zur Kontrolle des gefundenen Resultates, braucht dasselbe nämlich nur umgekehrt zu werden, so dass das Objektiv zum Okular und das Okular zum Objektiv wird. Das emmetropische Auge allein kann dann dieselbe Einstellung beibehalten. Die Ametropen müssen die Einstellung in bestimmter Weise verändern. Das Instrument trägt also zwei einander kontrollierende Skalen. Dem Instrumente wird außerdem eine Tabelle, mit den, den verschiedenen Einstellungen entsprechenden Vergrößerungszahlen, beigegeben.

Optometer, beruhend auf der Messung von Zerstreuungskreisen.

§ 60. Die bisher besprochenen optometrischen Methoden bezwecken, das Glas zu finden, welches ein ametropisches Auge emmetropisch macht, d. h. das Glas, welches ihm von entfernten Objekten scharfe Netzhautbilder liefert.

Ist das Auge nicht korrigiert, so erscheint ihm jeder Punkt dieser Objekte in Zerstreuungskreisen; und zwar sind dieselben um so größer, je stärker die Ametropie ist, d. h. je mehr sich die Einstellung, resp. die Länge des Auges, in der einen oder anderen Richtung, von der des emmetropischen entfernt.

Das Maß der Zerstreuungskreise muss also auch zur Bestimmung der Ametropie dienen können.

Dies ist in der That auch ausführbar, und zwar mit Hilfe des Scheiner-schen Versuches.

Sieht man nach einem sehr kleinen Objekte (z. B. einem Nadelknopfe), das in einer Entfernung steht, für welche das Auge nicht eingestellt ist, durch ein Diaphragma, das einige äußerst feine, sogenannte stenopäische, Öffnungen trägt, deren gegenseitiger Abstand kleiner ist als der Pupillardurchmesser, so erscheint das Objekt vielfach, da jede Öffnung ein besonderes Netzhautbild liefert. Dies Experiment nennt man Scheiner's Versuch.

Fig. 116.

Die Erklärung desselben ist sehr einfach: Seien, in Fig. 116, *DD* das Diaphragma, *A* und *B* zwei Öffnungen desselben, *O* ein leuchtender Punkt.

Wäre das Diaphragma nicht vorhanden, so würde ein von *O* ausgehender Lichtkegel ins Auge dringen, und sich in *o* wieder zu einem punktförmigen Bilde vereinigen. — Das Diaphragma hält nun aber den größten Teil der Lichtstrahlen ab, und lässt nur die durch *A* und *B* gehenden ins Auge gelangen. Statt eines einzigen Lichtkegels, dessen Basis die Pupille gewesen wäre, erhält also das Auge zwei kleine, deren Basis die Diaphragmaöffnungen sind, deren gemeinschaftliche Spitze aber immer *o* ist.

Liegt dieser Punkt gerade in der empfindenden Stelle der Netzhaut, mit anderen Worten, ist das Auge auf die Entfernung des Objektpunktes *O* eingestellt, so erhält es also von demselben, nach wie vor, ein scharfes Bild,

nur ist dasselbe eben lichtschwächer, weil von einer geringeren Lichtmenge gebildet.

Liegt aber die Netzhaut vor dem Punkte o, z. B. in HH, wo von dem Punkte O, ohne das Diaphragma, ein Zerstreuungskreis von dem Durchmesser ab entstanden wäre, so wird nun jeder der beiden Lichtkegel darauf ein besonderes Zerstreuungsbildchen, a und b, entwerfen. Liegt die Netzhaut vor dem mit O konjugierten Brennpunkte o, so fallen die beiden Bilder, wie man sieht, auf die gleiche Seite wie die ihnen entsprechenden Öffnungen; sie werden aber, wie alle Netzhautbilder, durch den Knotenpunkt, umgekehrt nach außen projiziert: a nach A', b nach B'. Das Auge sieht also den Leuchtpunkt sozusagen in gekreuzter monokularer Diplopie.

Das Umgekehrte ist der Fall, wenn die Netzhaut hinter dem konjugierten Brennpunkte o, z. B. in MM liegt. Die Lichtkegel gehen, nach ihrer Vereinigung in o, wieder auseinander, und treffen die Netzhaut in α und β. Durch den Knotenpunkt nach außen projiziert, erscheinen dann die Bilder auf der gleichen Seite wie die zugehörigen Öffnungen, und wir können sagen, dass, in Bezug auf diese, der Punkt O dem Auge in homonymer Diplopie erscheine[1]).

Es ist leicht einzusehen, dass, cæteris paribus, je weiter die Netzhaut von der Brennebene EE entfernt ist, desto größer der Abstand zwischen den Doppelbildern wird. Dies Experiment muss sich also zur Optometrie verwenden lassen. Steht O in einer Entfernung, die man als unendlich betrachten kann, so entspricht EE der Lage der Netzhaut im emmetropischen Auge, das, trotz der Öffnungen im Diaphragma, ein einziges, scharfes Bild o von O erhält; vor derselben (HH) befindet sich die Netzhaut des hyperopischen, hinter derselben (MM) die des myopischen Auges. — Zu leichter Erkennung der relativen Lage der Doppelbilder, wird man die eine Öffnung mit einem roten Glase bedecken. — Eine Skala auf der Wand, an welcher der Lichtpunkt O liegt, wird die den verschiedenen Entfernungen der Doppelbilder entsprechende Ametropie angeben.

Nach diesem Plane hat W. Thomson (39) ein sehr brauchbares Optometer konstruiert. Das Diaphragma, das selbstverständlich möglichst nahe an das Auge gebracht werden muss, hat zwei Öffnungen von 0,5 mm Durchmesser, und 4 mm gegenseitigem Abstande. Die eine ist mit einem roten Glase bedeckt. Als Objekt dient eine 5 m entfernte, kleine Lichtflamme. Zur Messung des Abstandes der Doppelbilder, bedient sich der Autor einer zweiten Kerzenflamme, welche, bei horizontaler Stellung der Öffnungen, der horizontalen Einteilung entlang geführt wird, bis eines der ihr entsprechenden Doppelbilder mit einem der anderen Flamme zusammenfällt. Der Untersuchte sieht dann also drei Bilder.

1) Wir haben die Projektion der Punkte α und β absichtlich weggelassen, um die Figur nicht zu komplizieren.

Die Einteilung wird sowohl durch Berechnung, als experimentell, d. h. mit Hilfe bekannter ametropischer Augen hergestellt. Ihr Nullpunkt entspricht der Fixierflamme.

Eigene diesbezügliche Untersuchungen haben uns gezeigt, wie wichtig es ist, dass die Oberflächen des roten Glases vollkommen parallel sind, sonst tritt prismatische Ablenkung ein, die zu großen Irrtümern Veranlassung geben kann.

Die Methode ließe sich auch leicht zur Bestimmung des Astigmatismus verwerten. Das Diaphragma müsste sich dazu, um den Mittelpunkt zwischen den beiden Öffnungen, vor der Pupille herumdrehen lassen, um dieselben successive in die Richtung der beiden Hauptmeridiane zu bringen, resp. die größte und die geringste Entfernung der Doppelbilder zu erhalten. Bei gemischtem Astigmatismus, träte in dem einen Meridian sogar gekreuzte, im anderen homonyme Diplopie zu Tage. Die Einteilung der Wand müsste selbstredend auf dem Radius einer vom Fixierpunkte ausgehenden Strahlenfigur angebracht sein, welcher entlang das zweite Licht geführt würde.

Ward und Holden's Optometer (134) besteht ebenfalls in einem dicht vor das Auge gebrachten Diaphragma, das zwei, 1 mm weite, und 4 mm voneinander entfernte Öffnungen, in horizontaler Anordnung trägt. Vor einer der Öffnungen lässt sich ein Prisma aus rotem Glase drehen. Steht dasselbe mit seiner brechenden Kante gerade nach oben oder unten, und ist das Auge auf einen Lichtpunkt eingestellt, so erscheint derselbe in vertikal übereinanderstehenden Doppelbildern. Ist die Einstellung des Auges nicht richtig, so stehen die beiden Bilder schief zu einander, und zwar in dem einen oder anderen Sinne, je nachdem die Strahlen vor oder hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Das Prisma wird dann in einer graduierten Fassung gedreht, bis die Doppelbilder auf der gleichen vertikalen Linie liegen. Der dazu nötige Drehungswinkel entspricht dem Grade der Ametropie, wenn das Experiment auf große Entfernung vorgenommen wird.

Über der freien Öffnung, bringt der Autor einen kleinen Konvexspiegel so an, dass dadurch, über dem, dieser Öffnung entsprechenden Bilde, eine vertikale Lichtlinie entsteht[1]).

Das rote Bild der einen Öffnung muss dann in das linienförmige der anderen zu liegen kommen.

Wird die Scheibe mit den zwei Öffnungen um ihre Achse gedreht, und bleibt die relative Stellung der beiden Bilder dabei dieselbe, so ist die Refraktion in allen Meridianen des Auges die gleiche, gehen die Bilder auseinander, so ist Astigmatismus vorhanden. Der stärkst-, und der schwächstbrechende Meridian unterscheiden sich voneinander durch die stärkste und schwächste Schiefheit der Verbindungslinie der Bilder.

---

1 Vielleicht ließe sich dazu Maddox's Glasstab noch besser verwenden.

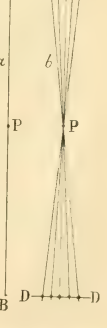
Die entsprechende Refraktion wird wieder durch Drehung des Prismas bestimmt. Dasselbe hat in HOLDEN's Instrument 3° (ob Öffnungs- oder Ablenkungswinkel ist nicht angegeben), und es soll, durch seine Rotation, die Refraktion von 7 D. Hypermetropie, bis 7 D. Myopie bestimmt werden können.

In einfacherer Weise haben wir (125) SCHEINER's Versuch zur Optometrie verwertet. Wir setzen das Diaphragma mit den zwei Öffnungen an die Stelle des Spiegels in unser Ophthalmoskop (S. 78), und dasselbe wird so zu einem subjektiven Optometer. In der That ist seine Gläseröffnung groß genug (1 cm Durchmesser), um die weiteste Pupille zu bedecken. Besteht Diplopie, so lassen wir die Gläser des Instrumentes vor dem Auge vorbeipassieren, bis die zwei Bilder in eines verschmelzen. Das Glas, bei welchem dies stattfindet, ist offenbar das Korrektionsglas, da es das Auge emmetropisch macht.

Zur Bestimmung des Astigmatismus, wird das Diaphragma in seiner Fassung so gedreht, dass die Öffnungen erst in den einen, dann in den anderen Hauptmeridian zu liegen kommen. So lässt sich die denselben entsprechende Refraktion sehr leicht bestimmen.

Wir brauchen also weder eine Einteilung der Wand, noch eine zweite Lichtflamme. Unsere Methode stellt, in der That, eine Kombination des ersten und des zweiten Prinzipes der Optometrie dar. Statt die Zerstreuungskreise zu messen, suchen wir das Glas, das sie aufhebt.

Fig. 117.



Der erste, der SCHEINER's Versuch zur Optometrie verwendete, war PORTERFIELD (a). Sein Instrument wurde durch TH. YOUNG (b) verbessert, und YOUNG's Instrument durch LEHOT (c) vereinfacht.

Diese Instrumente bestehen im wesentlichen in einer Art flachem Lineal, auf welchem eine feine, gerade Linie gezogen ist — schwarz auf weißem, oder weiß auf schwarzem Grunde. Das Brettchen wird horizontal, mit dem einen Ende ans Auge gehalten. Das Auge sieht nach der Linie, durch die vertikalen Spalten eines Diaphragmas. Die Linie erscheint dann einfach nur in dem Punkte, für welchen das Auge eingestellt ist; diesseits wie jenseits derselben, geht sie in ebensoviele Linien auseinander wie das Diaphragma Spalten hat.

Sei z. B. *AB* (Fig. 117a) die Linie des Optometers, *DD* (Fig. 117b) das Diaphragma mit vier Öffnungen, *P* der Punkt, auf welchen das Auge eingestellt ist, so wird die Linie *AB* dem Auge in der Weise erscheinen, wie sie Fig. 117b wiedergiebt.

Da die polyopisch gesehenen Linien, vor und nach ihrer Kreuzung, einander notwendigerweise sehr nahe liegen, so ist es nicht leicht, den Kreuzungspunkt genau anzugeben. Dies ist ein großer Nachteil dieser Methode. Außerdem ist dieselbe, in der eben beschriebenen Form, nur in Fällen verwendbar, wo der Fernpunkt in endlicher, und nicht allzugroßer Entfernung vor dem Auge liegt, d. h. bei Myopie höheren Grades. Um die Methode allen Fällen von Ametropie gerecht zu machen, muss man den Fernpunkt auch der Hypermetropen, mit Hilfe eines Konvexglases, in kurze Entfernung vor das Auge bringen.

Dies hat STAMPFER gethan. Er benutzte zwei ineinander gleitende Röhren. Die äußere trug, dem Auge nahe, ein Konvexglas von 8 D. und dahinter ein Diaphragma mit zwei parallelen Spalten von 0,7 mm Weite, und einem gegenseitigen Abstande, der geringer war als der Durchmesser einer engen Pupille.

Die innere Röhre enthielt ebenfalls ein Diaphragma, jedoch nur mit einer feinen, den beiden erstgenannten parallelen, und mit mattem Glase bedeckten Spalte.

Dies Diaphragma wird nun, durch Aus- oder Einschieben des zugehörigen Rohres, in die Entfernung vor dem Auge gebracht, bei welcher die Spalte, obschon durch die zwei anderen betrachtet, einfach erscheint.

Dies ist wiederum der Fall, wenn das Auge für die Entfernung der Spalte adaptiert ist. Von der entsprechenden Refraktion muss dann selbstredend die der Okularlinse abgezogen werden. Auf diese Weise ist die Einteilung des Optometers berechnet.

LEONHARD (107) beschreibt eine optometrische Methode, welche ebenfalls unter die Rubrik des SCHEINER'schen Versuches gehört. Sie beruht auf einem zuerst von GRAY (PRIESTLEY, Geschichte der Optik. I. S. 158) angegebenen, später von FABER und LE CAT (Traité des Sensations. II. S. 507) erklärten Versuche.

Hält man dicht vor das Auge eine Nadel, in einiger Entfernung davon (nicht über 50 cm), einen Schirm mit einem Loch, und blickt durch dieses nach einer hellen Fläche, so sieht man ein umgekehrtes Bild der Nadel hinter dem Schirm, wenn das Auge für einen entfernteren Punkt als der Schirm eingestellt ist, ein aufrechtes Bild, wenn der Einstellungspunkt näher liegt, gar keines, wenn das Auge auf die Entfernung des Schirmes eingestellt ist.

Im ersten Falle wirft die Nadel einen mit ihr gleichgerichteten Schatten auf die Netzhaut. Derselbe wird aber in entgegengesetzter Richtung, an den Ort des Einstellungspunktes projiziert. — Im zweiten Falle hat das Schattenbild der Nadel auf der Netzhaut die umgekehrte Richtung wie sein Objekt. In der Projektion noch einmal umgekehrt, erscheint es also mit der Nadel gleichgerichtet. — Im dritten Falle entsteht kein Schatten.

Leonhard's Instrument besteht aus einer innen geschwärzten Röhre. Dicht vor dem Auge steht ein senkrechter Pfeil. In der Röhre ist ein mehrfach durchlöcherter Schirm verschiebbar, so dass also mehrere Bilder des Pfeiles auftreten. Liegt der Fernpunkt weiter als 50 cm, so bringt man ihn durch ein vorgesetztes Konvexglas näher. Um seine Lage zu ermitteln, schiebt man den Schirm so weit hinaus, bis aufrechte Bilder vor demselben erscheinen. Um den Nahepunkt zu finden, bringt man ihn näher, bis umgekehrte Bilder hinter ihm auftreten.

Wir müssen hier noch eines zweiten Thomson'schen Optometers gedenken, das der Autor, in sehr ingeniöser Weise, auf die Messung von Zerstreuungskreisen basiert hat. Das Instrument, das er Ametrometer heißt, ist in

Fig. 118.

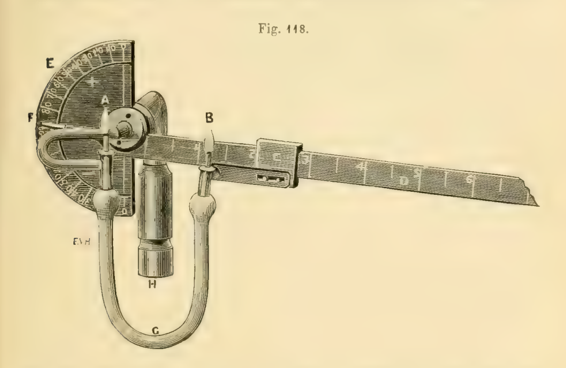


Fig. 118 dargestellt. A und B sind kleine Gasflammen, die erste feststehend, die zweite beweglich. Indem man die Gleite C der Leiste D entlang führt, kann B bis zum Kontakt mit A gebracht, oder bis 30 cm davon entfernt werden. Außerdem lässt sich B, durch Heben oder Senken des Armes E, um A als Centrum herumführen. Die Neigung der beiden Lichter zur Vertikalen wird durch den Zeiger F auf der Kreisteilung angegeben.

Der Ständer H ist hohl und wird mit der Leitung in Verbindung gebracht, durch welche das Gas in den Schlauch G dringt.

Der Apparat wird in 5 m Entfernung von dem zu Untersuchenden aufgestellt, und den Flammen ein Durchmesser von 5 mm gegeben. — Einem Emmetropen erscheinen sie wie zwei leuchtende Punkte, ein Ametrope

dagegen, sieht, an ihrer Stelle, zwei leuchtende Scheiben, zwei Zerstreuungskreise, deren Durchmesser dem Grade seiner Ametropie proportional ist.

Der Untersucher nähert nun das Licht *B* dem Lichte *A*, bis sich ihre Zerstreuungskreise gerade berühren. Der entsprechende Grad der Ametropie lässt sich dann auf der Einteilung der Leiste *FD* ablesen.

Um die Natur der Ametropie zu bestimmen, bedeckt man die Hälfte der Pupille des untersuchten Auges mit einem roten Glase. Damit färbt sich auch je eine Hälfte der zwei Zerstreuungsbilder, und zwar, bei Hypermetropie, die dem roten Glase entgegengesetzte, bei Myopie, die gleiche Seite wie die der Pupille. Die Erklärung dieses Vorganges folgt aus dem, was wir, bei der Beschreibung des Scheiner'schen Versuches, über gekreuzte und homonyme monokulare Diplopie gesagt haben.

Bei Astigmatismus, erscheinen die Punkte *A* und *B* in der Richtung des einen Hauptmeridians verzogen. *B* wird dann um *A* gedreht, bis die längere Achse der beiden Zerstreuungsbilder in dieselbe Gerade zu liegen kommt. Der Zeiger *F* giebt dann die Richtung des einen Hauptmeridians an. Der andere steht dazu senkrecht.

Zur Bestimmung des Grades des Astigmatismus, wird die Refraktion successive in den beiden Hauptmeridianen, in der eben beschriebenen Weise gemessen.

Lässt man ein Auge, durch ein Diaphragma mit stenopäischer Öffnung, nach einem entfernten Objekte blicken, und bewegt das Diaphragma hin und her, so erscheint das Objekt dem Auge entweder unbeweglich, oder es scheint die Bewegungen mitzumachen, und zwar in gleichem, oder in umgekehrtem Sinne.

Unbeweglich scheint das Objekt, wenn das Auge auf dasselbe optisch eingestellt ist, denn, welcher Teil des der Pupille zugänglichen Strahlenbündels auch durch die Öffnung dringe, so treffen doch alle Strahlen die gleiche Stelle der Netzhaut.

Kommen dagegen die vom Objekte ausgehenden Lichtstrahlen vor der Netzhaut zur Vereinigung, so durchläuft die beleuchtete Stelle der letzteren eine zur Bewegung der Öffnung umgekehrte Bahn. Nach außen projiziert, scheint sich also das Objekt in gleichem Sinne wie das Diaphragma zu bewegen.

Würden sich dagegen die Strahlen hinter der Netzhaut vereinigen, so bewegt sich das Netzhautbild im gleichen, das Objekt also scheinbar in entgegengesetztem Sinne wie das Diaphragma.

Diese Erfahrung hat S. Holth (226) zur Refraktionsbestimmung zu verwerten gesucht. Sein Apparat, Kineskop genannt, besteht hauptsächlich aus einer von zwei Metallfassungen getragenen stenopäischen Spalte, welche in jeder beliebigen Richtung vor das zu untersuchende Auge gebracht,

und senkrecht zu derselben, um einige Millimeter hin- und herbewegt werden kann.

Als Objekt dient eine, in sechs Meter Entfernung aufgestellte, weiße Scheibe, oder Linie, auf schwarzem Grunde. Scheint sich dieselbe mit dem Diaphragma gleichsinnig zu bewegen, so ist Myopie, wenn umgekehrt, Hypermetropie vorhanden. Der Grad der Ametropie wird durch das Glas ausgedrückt, welches, vor das Auge gehalten, die Scheinbewegung aufhebt, d. h. das Auge emmetropisch macht.

Bei regelmäßigem Astigmatismus, sucht der Autor erst, nach einer der bekannten Methoden, die Richtung der Hauptmeridiane auf, stellt dann die Spalte seines Apparates dem schwächer brechenden Meridiane parallel, und bestimmt dessen Refraktion in eben angegebener Weise. Dann lässt er das sphärische Korrektionsglas dieses Meridians vor dem Auge, und giebt der Spalte die Richtung des stärker brechenden Meridians. Derselbe wird hierauf mit einem Konkavcylinder korrigiert.

Bestimmung der Refraktion mit Hilfe der chromatischen Aberration des Auges.

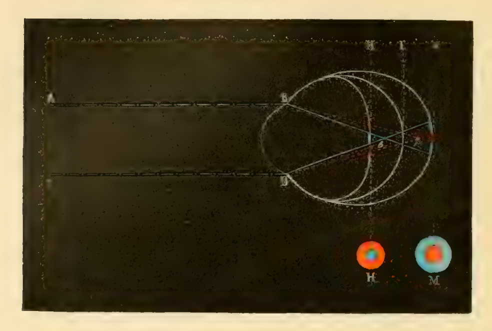
§ 61. Dazu verwendet man, mit Helmholtz, am besten ein intensiv gefärbtes Kobaltglas. Das scheinbar reine Blau dieses Glases enthält nämlich, außer Blau, eine große Menge Rot, oder, besser gesagt, es absorbiert die mittleren Strahlen des Spektrums ziemlich vollständig, lässt aber Blau und Rot durch. Blau und Rot gehören nun aber den beiden Enden des Spektrums an, die Brechbarkeit dieser Strahlen ist eine sehr verschiedene, Blau gehört zu den brechbarsten, Rot zu den am wenigst brechbaren Strahlen. Gehen beide Strahlenarten gleichzeitig durch ein dioptrisches System, so kommen die ersteren vor den letzteren zur Vereinigung. Diese Eigentümlichkeit lässt sich nun in folgender Weise zur Optometrie verwenden.

Man umhülle eine Gasflamme mit einem schwarzen Kamine, das nur auf der Höhe der Flamme eine kleine, runde Öffnung trägt. Dieselbe bedecke man mit einem matten, farblosen, und einem darauf applizierten Kobaltglase. So erhält man einen leuchtenden Punkt, dessen Licht aus blauen und roten Strahlen zusammengesetzt ist. Steht das Licht in großer Entfernung von dem beobachtenden Auge, so können die davon ausgehenden Strahlen als parallel betrachtet werden. $ABCD$ (Fig. 119) sei ein solches blaurotes Strahlenbündel. Dieses trifft in BD das dioptrische System des Auges. Dasselbe vereint die blauen Strahlen des gemischten Bündels in b, die roten erst in r.

Das Auge ist auf den Leuchtpunkt eingestellt, wenn es von demselben einen möglichst kleinen Zerstreuungskreis erhält. Dies findet statt, wie die Figur zeigt, in E, zwischen den beiden Brennpunkten, wo die Farben

gleichmäßig gemischt sind, der Punkt also gleichmäßig violett erscheint. Liegt die Netzhaut vor dieser Stelle, so erhält sie von dem Blau entweder ein scharfes Bild oder einen relativ kleinen, von dem Rot dagegen einen großen, den blauen überragenden Zerstreuungskreis; also, im Niveau *H*, das unter der Figur entworfene Bild.

Fig. 119.



Liegt die Netzhaut dagegen im Brennpunkt der roten Strahlen, so entsteht ein centrales Bild, in welchem das Rot überwiegt, und das von einem blauen Zerstreuungskreise überragt wird. Dies ist in *M* (Fig. 119) dargestellt (126).

Da wir den Objektpunkt als in großer Entfernung liegend angenommen haben, so würde *EE* der Emmetropie, *HH* der Hypermetropie, *MM* der Myopie entsprechen.

Der Grad der Ametropie entspricht, cæteris paribus, der Ausdehnung des Zerstreuungskreises. Das Korrektionsglas reduziert denselben auf sein Minimum.

Mit dem bisher Gesagten ist das Kapitel der subjektiven Optometrie noch lange nicht erschöpft. Es lag uns nur daran, die zu diesem Zwecke verwendbarsten Prinzipien, und einige nach jedem derselben gebaute Instrumente vorzuführen.

Die Optometer und optometrischen Methoden haben selbstverständlich sehr verschiedenen praktischen Wert. Alle gewinnen sehr durch die Paralyse der Akkommodation, weil diese die Feststellung der statischen Refraktion des Auges oft in hohem Maße stört. Da es aber nur ausnahmsweise

gestattet ist, diese dynamische Refraktion durch Mydriatica auszuschließen, und natürliche Paralyse derselben zur Seltenheit gehört, so müssen wir, für den klinischen Gebrauch, derjenigen Methode den Vorzug geben, bei welcher am ehesten ein Erschlaffen der Akkommodation zu erwarten ist. Dies ist, wie schon oben bemerkt, der Fall bei der Bestimmung der Refraktion mit einfachen Brillengläsern und in großer Entfernung aufgestellten Sehproben (12). Beim Blick in die Ferne, entspannen sich Akkommodation und Konvergenz noch am leichtesten, während ein an das Auge gebrachtes Instrument, ein Rohr, ein Kasten, ein einfaches Diaphragma, unwillkürlich die Akkommodation in Thätigkeit versetzt. Wie viele Gelehrte ermüden sich dadurch nicht unnötigerweise beim Mikroskopieren, wie oft hört man Klagen über durch Operngläser hervorgerufene Augenschmerzen, während doch beide Instrumente, dank ihrer Einstellungsvorrichtung, vollkommene Entspannung, vollkommene Ruhe des Akkommodationsapparates gestatten.

Die Optometrie mit Hilfe der Brillengläser hat außerdem noch den großen Vorteil, dass, zugleich mit der Refraktion, auch die Sehschärfe weit sicherer gemessen werden kann, als dies mit den besten dazu bestimmten Optometern geschieht.

Endlich halten wir es für einen ganz besonderen Vorzug dieser Methode, dass sie gerade in den Verhältnissen vorgenommen wird, in denen die weitaus größte Zahl der Untersuchten sich der Korrektion ihrer Refraktionsanomalien bedienen. Wir sind denn auch überzeugt davon, dass dieselbe für die augenärztliche Praxis stets die Oberhand behalten wird.

Objektive Methoden der Refraktionsbestimmung.

§ 62. Bei den subjektiven Methoden der Dioptometrie, haben wir die in das untersuchte Auge dringenden Lichtstrahlen betrachtet und uns gefragt: »Von welchem Punkte müssen Strahlen ausgehen (E, M), resp. nach welchem Punkte hinzielen (H), um, in der Fovea des untersuchten Auges, zu einem scharfen Bilde vereinigt zu werden?« — Der fragliche Punkt war dann der Fernpunkt, aus dessen Lage und Entfernung vom Auge dessen Refraktion abzuleiten ist.

Bei den objektiven Methoden, gehen wir in umgekehrter Weise vor und fragen: »Nach welchem Punkte zielen (M), resp. von welchem Punkte scheinen Strahlen herzukommen (E, H), welche von der Fovea des untersuchten Auges ausgehen?« — Dieser Punkt ist wiederum der Fernpunkt des untersuchten Auges.

In der That sind, wie wir eingangs dieses Kapitels gezeigt, der Fernpunkt und sein Netzhautbild konjugierte Brennpunkte. Strahlen, die von dem ersteren ausgehen, zielen nach dem letzteren, und umgekehrt. Steht in einem der beiden Punkte ein Objekt, so entsteht im anderen dessen Bild.

Bei den objektiven Methoden machen wir also den Augengrund zum Objekte, und suchen das Bild auf, welches das dioptrische System des Auges von demselben entwirft. Da aber die Objekte des Augengrundes nicht selbstleuchtend sind, so müssen wir, um Lichtstrahlen davon zu erhalten, dieselben erst beleuchten. Dies geschieht mit Hilfe eines Spiegels, der das Licht einer hinter dem Auge befindlichen Quelle in dasselbe reflektiert. Damit die vom Augengrunde kommenden Strahlen nicht alle wieder vom Spiegel nach der Lichtquelle zurückkehren, sondern sich auffangen lassen, muss der Spiegel zum Teil durchsichtig, oder durchbohrt sein. Mit anderen Worten, die objektive Refraktionsbestimmung geschieht mit dem Augenspiegel, dem Ophthalmoskope.

Der Beobachter kann nun die von der Netzhaut des untersuchten Auges kommenden Strahlen direkt auf seiner eigenen Netzhaut auffangen. Er erhält dann von den Objekten derselben ein umgekehrtes Bild, wie von allen Gegenständen, die er betrachtet, und, wie diese Bilder, so projiziert er auch das der untersuchten Netzhaut noch einmal umgekehrt, d. h. aufrecht, in der Stellung, die das Objekt wirklich hat, nach außen. Dies ist der Grund, warum man diese Methode der Beobachtung die im aufrechten Bilde heißt.

Lässt dagegen der Beobachter die vom Fundus des untersuchten Auges ausgehenden Strahlen sich in der Luft zu einem reellen Bilde vereinigen, so heißt man die Methode die des umgekehrten Bildes, dies reelle Luftbild ist eben umgekehrt in Bezug zu seinem Objekte, und wird auch so vom Beobachter gesehen.

Bestimmung der Refraktion mittelst des aufrechten Augenspiegelbildes.

§ 63. Betrachten wir erst die Art und Weise, wie das aufrechte Bild zur Optometrie verwendet werden kann. Um die Sache nicht unnötig zu komplizieren, nehmen wir an, der Beobachter sei emmetropisch. Dies dürfen wir um so eher thun, als jeder ametropische Beobachter sich durch vorgesetzte Korrektionsgläser leicht emmetropisch machen kann. — Sodann setzen wir voraus, dass der Beobachter seine Akkommodation entspanne. Auch diese Annahme ist wohl gestattet, denn nur der kann den Augenspiegel richtig handhaben, der seine Akkommodation beherrscht[1].

1 Um die Akkommodation willkürlich entspannen zu lernen, muss man sich — wie bei der Erlernung jeder Muskelfunktion —, vor allem von dem Gefühle Rechenschaft geben, das man dabei empfindet. Nun ruft allerdings die Erschlaffung der Akkommodation an und für sich im Auge kein bemerkenswertes Gefühl hervor, wohl aber die damit verbundene Erschlaffung der Konvergenz, resp. die Anspannung der derselben entgegenwirkenden, abducierenden Muskeln. So habe ich mir einst selbst, und später meinen Schülern, die Augen parallel stellen und die Akkommodation entspannen gelehrt, indem ich erst in größte Ferne sah; dann, ohne meine Blickrichtung zu ändern, ein weißes Papier mit einem

Unter diesen Umständen braucht der Beobachter, um deutlich zu sehen, parallele Strahlen, denn nur solche kann er auf seiner Netzhaut zu einem scharfen Bilde vereinigen. Blickt er nun durch den, das untersuchte Auge beleuchtenden Spiegel, in dessen Pupille, und erhält er so schon ein deutliches Bild von dessen Netzhaut, so weiß er, dass die aus dem untersuchten Auge tretenden Strahlen parallel sind, dass das Auge emmetropisch ist; vorausgesetzt, dass nämlich auch das untersuchte Auge akkommodationslos ist. Dies ist aber meistens der Fall, denn, wie Mauthner mit Recht hervorgehoben hat, entspannt der Untersuchte unter keinen Umständen die Akkommodation vollkommener, als gerade bei der Untersuchung im aufrechten Bilde. Selbstverständlich darf man ihn dabei nicht nach einem bestimmten Objekte hinsehen lassen. Der verdunkelte Untersuchungsraum soll überhaupt keinen Gegenstand enthalten, der des Patienten Aufmerksamkeit anziehen könnte.

Sieht der Beobachter, trotz vollkommen durchsichtiger Medien des untersuchten Auges, dessen Hintergrund nicht deutlich, so sind die davon ausgegangenen Strahlen nicht parallel; sie divergieren, oder konvergieren; das Auge ist ametropisch.

Über die Richtung derselben giebt dem Beobachter ein sphärisches Glas Aufschluss: im ersten Falle braucht er ein konvexes, im zweiten ein konkaves Glas, um deutlich zu sehen. Konvexe Gläser machen divergente, konkave konvergente Strahlen parallel, wie sie der Emmetrope braucht.

Wir sehen schon daraus, dass das Glas, dessen der Beobachter bedarf, um den Augengrund des Untersuchten deutlich zu sehen, gleicher Natur ist, wie dasjenige, mit dem der Untersuchte ferne Objekte scharf sieht. Kommen doch divergente Strahlen aus hypermetropischen, konvergente aus myopischen Augen.

---

schwarzen Punkte vor meine Augen brachte. Der Punkt erscheint dabei undeutlich, und in gekreuzter Diplopie. Es gelingt auch unschwer, die gegenseitige Entfernung der beiden Bilder auf dem Papiere zu markieren. Sie muss dem gegenseitigen Abstande der beiden Augen entsprechen, da dieselben, beim Sehen in weite Ferne, parallel gerichtet sind.

Wiederholt man den Versuch mehrmals, so bringt man es dazu, den Punkt, bei einfachem Vorhalten des Papieres schon, gekreuzt doppelt zu sehen. Allerdings liegen die Doppelbilder anfangs gewöhnlich zu nahe aneinander, d. h. die Augen konvergieren noch, wenn auch nach einem weiter als das Objekt entfernten Punkte. Es gelingt dann aber, unter Hervorrufen eines gewissen Gefühles, das ich zum Teile der Kontraktion der Externi zuschreiben möchte, die Bilder immer weiter auseinander zu bringen, bis sie endlich der Parallelstellung der Gesichtslinien entsprechen. In diesem Momente erscheinen sie, wenigstens dem schwachen Myopen, dem Emmetropen und Hypermetropen, am undeutlichsten, woraus man auf die Entspannung der Akkommodation schließen darf. Jedesmal nun, wenn es sich um die Bestimmung der Refraktion im aufrechten Bilde handelt, ruft man das Gefühl der Parallelstellung der Augen hervor. — Zur Kontrolle mag die untersuchte Pupille dienen, die man so sehr doppelt sehen muss, dass das zweite Bild auf dem anderen Auge des Patienten erscheint. Man kann dann sicher sein, dass die Akkommodation genügend entspannt ist.

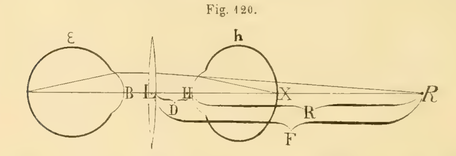
Dies geht auch wiederum aus der Regel der konjugierten Brennpunkte hervor: Das Glas, das die vom Augengrunde kommenden Strahlen parallel macht, giebt parallelen Strahlen die Richtung, die sie haben müssen, um auf demselben zur Vereinigung zu kommen.

Ja, wir erfahren durch das Korrektionsglas noch mehr: wir wissen, dass der Brennpunkt des Glases, welches ein Auge für parallele Strahlen einstellt, mit dem Fernpunkte desselben zusammenfällt. Also ist mit dem Glase, welches den emmetropischen Beobachter auf den Grund eines fraglichen Auges einstellt, auch der Fernpunkt des letzteren gefunden.

All dies wird uns mit Hilfe einiger Beispiele noch klarer werden.

Sei Fig. 120 h ein hypermetropisches Auge. Die von seiner Fovea X ausgehenden Strahlen verlassen das Auge so divergent, als kämen sie von dessen Fernpunkt R her. Um diese divergenten Strahlen auf seiner Netzhaut zu vereinigen, braucht der emmetropische, akkommodationslose Beobachter ε ein Konvexglas, dessen Brennpunkt mit dem Punkte R zusammenfällt. So allein werden die Strahlen parallel, wie es die Emmetropie

Fig. 120.



zum scharfen Sehen verlangt. Die Hilfslinse L adaptiert also das beobachtende Auge ε auf den Fernpunkt des untersuchten Auges, gerade als ob dort ein Objekt stünde, das der Beobachter deutlich zu sehen wünscht.

R ist also gleichzeitig der Fernpunkt des untersuchten Auges, und der Brennpunkt der Hilfslinse.

Um den Grad der Hypermetropie $\left(r = -\frac{1}{HR}\right)$ von der Brennweite des Glases (LR) abzuleiten, brauchen wir nur die Entfernung (LH) des Glases vom Auge zu kennen. (Die vom beobachtenden Auge kommt hier nicht in Betracht, da die von dem Glase zu demselben gehenden Strahlen parallel sind.)

Wir haben, wie Fig. 120 zeigt, bei Hypermetropie, diese Entfernung von der Brennweite abzuziehen. Bezeichnen wir die Brennweite des Hilfsglases LR mit F, die Entfernung LH desselben vom untersuchten Auge mit D, und die Entfernung des Fernpunktes von dem Hauptpunkte des untersuchten Auges RH mit R, so ist die Refraktion r des letzteren

$$r = \frac{1}{\mathrm{R}} = \frac{1}{F - D}.$$

Das gefundene Konvexglas ist also schwächer als der Grad der Hypermetropie. Der Unterschied zwischen der Brechkraft der Hilfslinse und der Refraktion des Auges ist um so größer, je größer D ist im Vergleiche zu R.

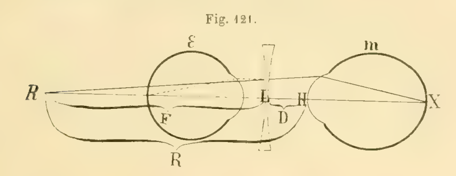
Es ist also jedenfalls vorteilhaft, das Glas dem untersuchten Auge möglichst nahe zu bringen. Dann entspricht es wenigstens annähernd dessen Korrektionsglas für die Ferne.

Hat die konvexe Hilfslinse eine Brechkraft von 2 Dioptrien, und ist deren Entfernung $LH = D$ vom untersuchten Auge = 2 cm, so ist $F = 50$, R = 48 cm.

Statt $\frac{100}{50} = 2$, wie die Linse, ist die Hypermetropie $\frac{100}{48} = 2{,}08$ D.

Nehmen wir an, das untersuchte Auge sei myopisch (m Fig. 121). Die austretenden Strahlen sind also konvergent.

Fig. 121.



Um dieselben seinem Auge gerecht, d. h. parallel zu machen, muss sie der emmetropische Beobachter ε, durch ein konkaves Glas L gehen lassen, dessen Brennpunkt mit dem Konvergenzpunkte R der Strahlen, resp. dem Fernpunkte des untersuchten Auges, zusammenfällt. Wie man sieht, muss man in diesem Falle die Entfernung ($LH = D$) der Hilfslinse vom Auge dessen Brennweite $RL = F$ zuzählen, um die Entfernung $RH =$ R des Fernpunktes vom Auge zu erhalten. Dieselbe ist also $F + D$, und die Refraktion des Auges

$$r = \frac{1}{\text{R}} = \frac{1}{F + D}.$$

Das gefundene Glas ist stärker als der Grad der Myopie.

Hat die Linse 2 Dioptrien, so ist $RL = 50$ cm. Befindet sie sich 2 cm vom untersuchten Auge entfernt, so ist R $= 50 + 2 = 52$ cm, also die Myopie $\frac{100}{52} = 1{,}9$ Dioptrien.

Der Unterschied zwischen der Refraktion des untersuchten Auges und dem so gefundenen Korrektionsglase nimmt zu sowohl mit der Stärke desselben, als mit seiner Entfernung von dem Auge.

Nagel hat die wahren Ametropiegrade für verschiedene Abstände der Korrektionsgläser in folgender Tabelle zusammengestellt[1]).

Dioptrium des Korrektionsglases	Hypermetropie				Myopie			
	D. = 15,5 mm	D. = 25 mm	D. = 40 mm	D. = 50 mm	D. = 15,5 mm	D. = 25 mm	D. = 40 mm	D. = 50 mm
1	1,015	1,025	1,041	1,05	0,98	0,975	0,961	0,95
2	2,06	2,105	2,17	2,22	1,93	1,90	1,84	1,81
3	3,14	3,24	3,41	3,52	2,86	2,79	2,67	2,60
4	4,26	4,44	4,76	5	3,76	3,63	3,44	3,33
5	5,42	5,71	6,25	6,66	4,64	4,44	4,166	4
6	6,64	7,06	7,89	8,62	5,49	5,21	4,84	4,6
7	7,85	8,48	9,72	10,77	6,31	5,95	5,47	5,18
8	9,13	10,0	11,76	13,33	7,11	6,66	6,060	5,71
9	10,46	11,49	14,06	16,36	7,89	7,34	6,61	6,26
10	11,83	13,33	16,66	20	8,6	8,00	7,14	6,66
11	13,2	15,02	19,64	24,45	9,4	8,62	7,63	7,09
12	14,7	17,15	23,09	30,30	10,1	9,23	8,11	7,5
13	16,2	19,26	27,10	37,17	10,8	9,81	8,55	7,88
14	17,8	21,55	31,52	46,7	11,5	10,39	8,97	8,23
15	19,5	24,03	37,59	62,5	12,18	10,82	9,38	8,57
16	21,27	26,66	44,44	80,0	12,8	11,42	9,75	8,88
17	23,09	29,55	53,19	113,3	13,4	11,93	10,12	9,19
18	25	32,78	64,51	181,8	14,08	12,42	10,46	9,47
19	26,9	36,23	79,36	380,0	14,6	12,89	10,79	9,74
20	28,98	40,00	100	∞	15,2	13,33	11,11	10

Die erste Kolonne enthält die Nummer, resp. die Zahl der Dioptrien des Korrektionsglases, *D* bezeichnet die Entfernung desselben vom untersuchten Auge.

Würde es sich einfach darum handeln, die Korrektionsgläser vor dem untersuchten Auge herumzuführen, so könnte man sich, bei der Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde, aller der Einrichtungen bedienen, die wir bei der subjektiven Optometrie mittelst der Sehschärfe erwähnt haben. Hätte aber das Hantieren der Gläser des Brillenkastens zugleich mit demjenigen des Ophthalmoskopes schon etwas sehr missliches, so wäre auch der Gebrauch von vor dem untersuchten Auge stehenden, gläsertragenden Scheiben, Reifen, Latten, bei der Untersuchung im aufrechten Bilde nicht bequem. Außerdem brächte das zwischen dem Spiegel und dem untersuchten Auge stehende Glas einen Reflex mit sich, der sehr störend werden könnte. Man pflegt deshalb die Korrektionsgläser hinter dem Spiegel, d. h. auf der dem Untersuchten abgekehrten Seite desselben anzubringen, und zwar gewöhnlich in excentrischen Scheiben, welche gestatten, die Gläser,

1 Erste Auflage dieses Handbuches. IV. Bd. S. 420.

in raschem Wechsel, vor der Öffnung des Spiegels herumzuführen. Wir haben die verschiedenen, zu diesem Zwecke angegebenen Vorrichtungen, im Kapitel der Ophthalmoskopie schon beschrieben. Aus dem eben Gesagten geht aber schon hervor, dass das Ophthalmoskop so gebaut sein muss, dass es eine möglichste Annäherung der Korrektionsgläser an das untersuchte Auge gestattet, und dass seine Durchbohrung nicht so eng sein darf, dass sie, wie eine stenopäische Öffnung, deutliches Sehen auch bei ungenauer optischer Einstellung ermöglicht.

Die Methode des aufrechten Bildes ist, in der Hand eines tüchtigen Ophthalmoskopikers, eine der besten objektiven Methoden der Refraktionsbestimmung. Sie bietet auch bei Hypermetropie, bei Emmetropie und bei mäßiger Myopie, keine besonderen Schwierigkeiten. Erst bei Myopie höheren Grades, etwa von 10 Dioptrien ab, giebt sie in der eben besprochenen Weise keine ganz zuverlässigen Resultate mehr.

Dies rührt, wie Eperon (117) nachgewiesen, davon her, dass, unter diesen Bedingungen, das scharf zu übersehende Gebiet des untersuchten Augengrundes sehr klein, und namentlich sehr lichtschwach wird[1]. Diese Nachteile hebt der Autor dadurch, dass er, dicht vor dem untersuchten Auge, einen negativen Meniscus von 13 oder 18 Dioptrien anbringt. Derselbe wandelt sozusagen die hohe Myopie dieses Auges, je nach ihrem Grade, in schwache Myopie, Emmetropie, oder gar Hypermetropie um. Da die konvexen Flächen des Meniscus dem Spiegel zugekehrt sind, so werden die davon erzeugten Reflexe sehr klein und weniger störend, als es bei einer bikonkaven Linse der Fall wäre.

Außerdem empfiehlt der Autor, sich bei dieser Bestimmung der hochgradigen Myopie, eines Konkavspiegels von nicht mehr als 6 bis 5 cm Brennweite zu bedienen, und denselben dem Meniscus bis auf wenigstens 5 mm zu nähern. Um den Meniscus dem Auge möglichst nahe zu bringen, giebt ihm Eperon nur 15 mm Durchmesser, und setzt ihn in eine, mit dem Augenspiegel durch einen gelenkigen Arm verbundene Fassung.

Da es sich, bei der Dioptometrie, beinahe ausschließlich um die der Fossa centralis entsprechende Refraktion handelt, so ist es von größter Wichtigkeit, die Bestimmung derselben nicht an irgend einem leicht sichtbaren Objekte des Augengrundes, einem Netzhautgefäße, einem Pigmentfleck u. dgl., sondern an der Makula selbst, oder jedenfalls derselben möglichst nahe, vorzunehmen. Die Refraktion nimmt nämlich, vom hinteren Pole des Auges an, ziemlich rasch ab. Schon über der Papille ist sie merklich geringer, als über der Fovea.

1 Steht das Korrektionsglas im vorderen Brennpunkte des untersuchten Auges, so misst, nach Eperon, das ophthalmoskopische Gesichtsfeld, bei Emmetropie = 3,1 qmm, bei Myopie von 13 D. = 1,2 qmm, bei Myopie von 20 D. = 0,7 qmm.

Nun ist letztere allerdings nur selten zur objektiven Optometrie geeignet. Wo auch die Makula kein, der Prüfung der Genauigkeit der optischen Einstellung günstiges Objekt bietet, da muss man sich wenigstens an den der Makula nächsten, äußeren Rand der Papille, oder an die zwischen beiden verlaufenden Blutgefäße halten.

Das aufrechte Augenspiegelbild lässt sich auch noch in einer anderen Weise zur Bestimmung der Refraktion verwenden: Statt eines Gegenstandes des Augengrundes, kann man das dort von einem leuchtenden Gegenstande erzeugte Bild zum Objekte der Beobachtung wählen.

Jedem Untersucher ist es doch wohl aufgefallen, dass das Bild der Lichtquelle um so schärfer erscheint, je genauer das untersuchte Auge auf die davon ausgehenden, vom Spiegel reflektierten Strahlen eingestellt ist. Da sich nun die Richtung solcher Strahlen leicht modifizieren lässt, so muss auch das Bild der Lichtquelle zur Bestimmung der Refraktion dienen können. Ja eine solche Methode muss den Vorteil haben, von der Refraktion des Beobachters unabhängig zu sein; ist es doch gleichgültig, in welcher Weise derselbe sich auf das Lichtbild einstellt, dessen Schärfe er zu beurteilen wünscht.

Sei O (Fig. 122) ein leuchtendes Objekt, welches sich auf dem eingeteilten Stabe AL verschieben, d. h. einer feststehenden Konvexlinse $L'L'$ nähern, oder davon entfernen lässt, $S'S'$ ein Planspiegel, U das untersuchte Auge.

Verlassen die von O ausgegangenen Strahlen die Linse so konvergent, dass sie sich in O' zu einem Bilde vereinigen würden, so werden sie von dem Spiegel nach dem Punkte R abgelenkt, der von S gerade so weit entfernt ist wie O'. Ist, bei dieser Einstellung, das Netzhautbild des Objektes O gerade scharf, so ist das untersuchte Auge offenbar hypermetropisch, und R sein Fernpunkt. Der Grad der Hypermetropie findet seinen Ausdruck in der Entfernung $HR = SR - SH$, wo H die Hornhaut, resp. den Hauptpunkt des Auges bedeutet.

Wäre die Hypermetropie stärker, so müsste O mehr von L abgerückt werden, um die Konvergenz der ins Auge dringenden Strahlen zu erhöhen; wäre sie schwächer, so würde das Objekt der Linse zu nähern sein.

Bei Emmetropie müsste O mit dem Brennpunkte F'' der Linse zusammenfallen, bei Myopie innerhalb der Brennweite derselben liegen, damit die davon ausgehenden Strahlen, nach ihrem Durchgang durch die Linse, divergent wären und so das untersuchte Auge träfen.

F'' würde also zum Nullpunkte der Einteilung, von welchem aus die Entfernung des Objektes zu messen wäre, und zwar würden die jenseits von F'' liegenden Werte der Hypermetropie, die diesseits gelegenen der Myopie entsprechen.

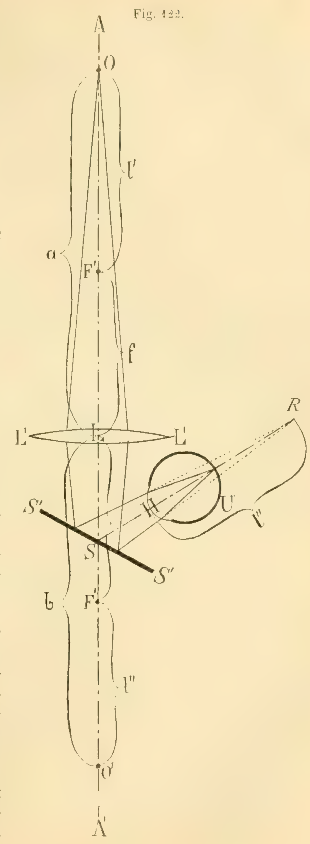


Fig. 122.

Bezeichnet man die Entfernung des Objektes von der Linse (OL) mit a, die des Bildes von der Linse ($O'L$) mit b, und die Brennweite der Linse mit f, so würde zur Herstellung der Einteilung die bekannte Formel dienen:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}.$$

Die gesuchte Größe HR (Entfernung des Hauptpunktes vom Fernpunkte) ergäbe sich durch Substraktion der Entfernung des Spiegels von der Linse (SL) und der Entfernung des Auges vom Spiegel (HS) von b:

$$HR = b - (LS + SH).$$

Nach diesem Prinzipe hat M. Burchardt (111) eine sehr hübsche optometrische Methode ersonnen. Als Objekt dient ihm eine von hinten stark beleuchtete Milchglasplatte, welche, zu leichterer Beurteilung der Einstellung des Auges, undurchsichtige Buchstaben trägt.

Um die Entfernung (LSH) des untersuchten Auges von der Linse konstant zu erhalten, wird, am Fuße der Linse sowohl wie an der Wange des Untersuchten, ein Band befestigt, welches um den Stiel des Planspiegels S herumgeht, und immer straff gespannt sein muss. Dasselbe soll so lang sein, dass der zweite Brennpunkt der Linse zusammenfällt

mit dem Punkte des Auges, auf welchen man dessen Brechzustand bezieht.

Wir würden dazu den Hauptpunkt H wählen. Bei dieser Anordnung ist offenbar $LSH = f$, also $HR = b - f$. Bezeichnen wir diesen Wert mit l'', und den entsprechenden Wert der Einteilung $a - f$ mit l', so wissen wir, dass zwischen diesen drei Werten folgendes einfache Verhältnis besteht: $l' \cdot l'' = f^2$ [1]).

Also ist $l' = \frac{f^2}{l''}$.

Ist nun $l'' = 1$ m, so wird $l' = 1f^2$

» $l'' = \frac{1\text{ m}}{2}$, » $l' = 2f^2$

$l'' = \frac{1\text{ m}}{3}$ $l' = 3f^2$ und so fort.

Das heißt: jeder Dioptrie des Brechzustandes des Auges entspricht ein gleiches Intervall der Einteilung. Die Größe derselben hängt ab von der Brennweite der Linse [2]).

Burchardt hat dafür 20 cm gewählt. Dann entsprechen 4 cm der Einteilung je einer Dioptrie des untersuchten Auges.

Mit Recht empfiehlt der Erfinder, zu dieser Methode einen nicht durchbohrten, und nur auf einer kleinen Stelle des Belages beraubten Planspiegel zu verwenden. In der That hat hierbei die Kleinheit der Durchsichtsstelle nicht den Nachteil wie bei der Bestimmung mit Hilfe eines Objektes des Augengrundes, bei welcher die Refraktion des Beobachters eine ebenso große Rolle spielt wie die des Untersuchten.

Bestimmung der Refraktion mittelst des umgekehrten Augenspiegelbildes.

§ 64. Lässt sich die objektive Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde vergleichen mit der subjektiven Methode mittelst der Sehschärfe, so entspricht diejenige im umgekehrten Bilde der subjektiven Optometrie mit Hilfe einer einzigen Konvexlinse. In den beiden letzteren Fällen wird der Fernpunkt des untersuchten Auges, durch diese Linse, in kurze, endliche Entfernung gebracht. Das umgekehrte ophthalmoskopische Bild entsteht da, wo, bei der subjektiven Methode, das Objekt aufgestellt werden muss, um scharf gesehen zu werden.

1) Dies folgt direkt aus der Formel $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$; man braucht nur a durch $f + l'$, b durch $f + l''$ zu ersetzen.

2) Vgl. S. 207.

Man hat denn auch vielfach versucht, die Optometer mit einer Konvexlinse gleichzeitig zur subjektiven wie zur objektiven Optometrie zu verwenden. Der Schlitten, der, bei der subjektiven Methode, das Sehobjekt führt, trägt, bei der objektiven, einen Schirm, der das umgekehrte Bild auffängt. Wie im ersten Falle die Entfernung des deutlichen Sehens, so wird im zweiten die Entfernung des scharfen Bildes vom Auge aufgesucht. Die Entfernung ist in beiden Fällen dieselbe. Deshalb gilt auch in beiden Fällen die gleiche Einteilung des Optometers.

In der ersten Ausgabe dieses Werkes (Bd. III, S. 135 u. f., 1874) habe ich die Einteilung eines solchen Optometers, für die verschiedenen Grade der Ametropie, sowie für verschiedene Linsen berechnet, und bin zu dem Schlusse gekommen, dass sich eine solche von 10 D. (alt $^1/_4$") noch am besten dazu eignen dürfte.

Später hat Hintzy (91) Badal's Optometer mit einem Augenspiegel versehen, und zur Optometrie im umgekehrten Bilde zu verwenden versucht.

Es ist aber durchaus nicht leicht, das umgekehrte Bild der Netzhaut auf einem Schirme aufzufangen. Das haben u. a. diejenigen erfahren, die versucht haben, den Augengrund zu photographieren.

Die Schwierigkeit liegt in der Beleuchtung. Geschieht dieselbe in der gewöhnlichen Stellung des Augenspiegels, wobei der letztere ziemlich weit vom Auge entfernt, die Linse dem Auge nahe aufgestellt wird, und das umgekehrte Bild zwischen Spiegel und Linse entsteht, so erhält man sowohl von den beiden Oberflächen der Linse, als von der Hornhaut, störende Reflexe. Größer jedoch ist der Nachteil, dass der zum Auffangen des Bildes bestimmte Schirm von dem Spiegel viel mehr Licht erhält als von dem Augengrunde. Das Beleuchtungslicht übertönt dann das Bild, so dass das letztere oft kaum sichtbar ist.

Man kann diesen Nachteil dadurch vermeiden, dass man nur einen Teil der Pupille des untersuchten Auges beleuchtet, oder den durchsichtigen Reflektor vor dem Schirme, am besten zwischen der Konvexlinse und dem Auge, anbringt.

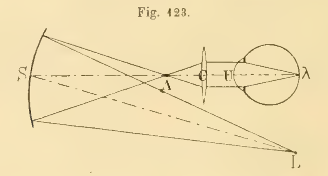
Letzteren Weg hat Loiseau (95) eingeschlagen bei der Konstruktion eines Instrumentes, das er Ophthalmoskoptometer nennt. Dasselbe besteht aus zwei ineinander verschiebbaren Röhren. Die äußere wird, mittelst eines 9 cm langen Stäbchens, am unteren Orbitalrande des Untersuchten aufgesetzt. Es trägt, zur Beleuchtung des Augengrundes, einen konkaven, durchsichtigen Meniscus und, 15 mm hinter demselben, eine Konvexlinse von 14 D., welche die Röhre abschließt, und in derselben das umgekehrte Bild des Augengrundes entwirft. Der Beobachter, der sein Auge an das entgegengesetzte Ende der inneren Röhre bringt, verschiebt dieselbe, bis das Bild auf einem darin enthaltenen matten Glase scharf

erscheint. Eine an dieser Röhre angebrachte Einteilung giebt die entsprechende Refraktion des untersuchten Auges an.

Statt das umgekehrte Bild auf einem Schirme aufzufangen, hat man versucht, dessen Lage mit Hilfe der Sehweite des Beobachters festzustellen. So bringt Burchardt (62), mittelst eines Konvexglases, seinen eigenen Fernpunkt auf 13 cm, und nähert sich so dem, mittelst eines anderen Konvexglases untersuchten Auge, bis ihm dessen umgekehrtes Bild scharf erscheint. Sodann misst er die Entfernung zwischen den beiden Linsen. Zieht man davon 13 cm ab, so bleibt die Entfernung des umgekehrten Bildes von der Untersuchungslinse. Dazu berechnet man die konjugierte Brennweite, und findet so, mit Berücksichtigung des Abstandes der Linse vom untersuchten Auge, den Fernpunkt des letzteren. Die Untersuchungslinse hält Burchardt so, dass ihr Brennpunkt in die Pupillarebene des untersuchten Auges fällt.

Genauer ist jedenfalls die Methode, nach welcher Schmidt-Rimpler (70) das umgekehrte ophthalmoskopische Bild zur Refraktionsbestimmung verwertet. Er benutzt nicht das Bild der Objekte des Augengrundes, sondern das Bild, das dort von einem, in bekannter Entfernung befindlichen, leuchtendem Objekte entworfen wird. Dies leuchtende Objekt ist aber nichts anderes, als das, durch den konkaven Augenspiegel entworfene, reelle Bild der Lichtquelle.

Fig. 123.

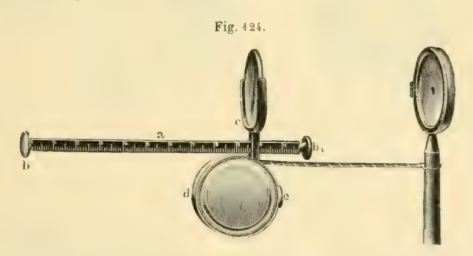


Sei L (Fig. 123) die Lichtquelle, S der Konkavspiegel, so entwirft derselbe in Λ ein Bild von L. — Fällt nun Λ mit dem Punkte zusammen, auf welchen das untersuchte Auge, mittelst der Linse C, eingestellt ist, so wird von Λ, auf der Netzhaut desselben, in λ, ein scharfes Bild entstehen. Umgekehrt wird λ, zugleich mit den an derselben Stelle liegenden Objekten der Netzhaut, wiederum in Λ abgebildet. Der durch die Öffnung in S schauende Beobachter wird also in Λ den beleuchteten Augengrund, und darauf das scharfe Bild der Lichtquelle erblicken. Da die Entfernung $S\Lambda$ des Lichtbildes vom Spiegel bekannt, und die Entfernung ΛU messbar ist, so lässt sich auf diese Weise die Lage des Fernpunktes des untersuchten Auges berechnen.

Noch einfacher gestalten sich die Verhältnisse, wenn man der Konvexlinse *C* eine solche Stellung giebt, dass ihr Brennpunkt mit einem der Kardinalpunkte des Auges zusammenfällt. Dann entsprechen, wie wir oben gesehen haben, gleichen Verschiebungen des Flammenbildes längs der Sehachse, gleiche Refraktionsunterschiede des Auges, und jeder Dioptrie Ametropie entspricht eine Verschiebung, die gleich ist dem Quadrate der in Metermaß ausgedrückten Brennweite der Linse.

Nach diesem Prinzipe hat nun Schmidt-Rimpler seiner Methode eine sehr praktische Form gegeben. Die Konvexlinse hat 10 Dioptrien, und ihr Brennpunkt fällt zusammen mit dem Hauptpunkte des untersuchten Auges. Ist letzteres emmetropisch, so entsteht das umgekehrte Bild im anderen Brennpunkte der Linse. Ist es ametropisch, so kommt es jenseits (Hypermetropie), oder diesseits (Myopie) desselben zu stande. Nach dem eben Gesagten entspricht, für diese Linse, jeder Dioptrie ein Unterschied der Entfernung des Bildes von 1 cm.

Fig. 124.



Um die Linse in der erforderlichen Entfernung von dem untersuchten Auge zu erhalten, steht ihre Fassung (*c* Fig. 124) in Verbindung mit einem Stäbchen (*a*), dessen eines Ende (*b*) gegen den unteren Orbitalrand gedrückt wird.

Als Objekt benutzt der Erfinder umstehende (Fig. 125a), in einem Diaphragma ausgeschnittene Figur. Sie wird von hinten, durch eine Lampe, stark beleuchtet (Fig. 125b).

Der Konkavspiegel hat eine Brennweite von 15 bis 16 cm. Er ist mit der Konvexlinse durch ein, in Centimeter geteiltes Maß (*d* Fig. 124) verbunden, das sich unter derselben in einer Hülse auf- und abrollt. Der Nullpunkt dieser Einteilung entspricht dem Ophthalmoskope.

Während nun der Beobachter, mit seiner Linken, das die Linse tragende Stäbchen auf den Orbitalrand des Untersuchten setzt, hält er mit der Rechten den Augenspiegel, und zieht das Band aus. Hierauf drückt er auf

den Federknopf der Hülse, und nähert sich mit dem Spiegel dem untersuchten Auge, bis ihm das Bild der Figur, zugleich mit dem des Augengrundes, vollkommen scharf erscheint. In diesem Augenblicke hört er mit dem Drucke auf, und stellt so die Entfernung CL (Fig. 123) des Spiegels von der Linse fest.

Fig. 125 a.

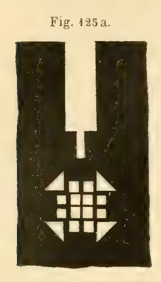
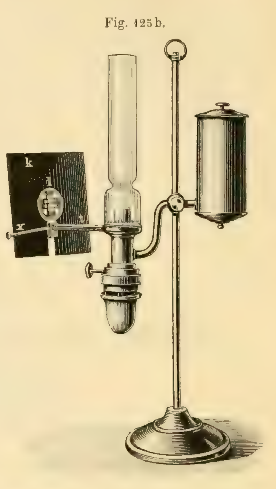


Fig. 125 b.



Um daraus die fragliche Entfernung OL des Bildes von der Linse abzuleiten, muss man die Entfernung CO des Bildes vom Spiegel kennen. Dies geschieht in folgender Weise: Das dem Beobachter zugekehrte Ende (b' Fig. 124) des Stäbchens (a), trägt eine Metallplatte. Man nähert nun den Spiegel, durch weiteres Aufrollen des Bandes, diesem Plättchen, bis darauf das Bild des Leuchtobjektes scharf zu sehen ist, und liest die Entfernung CO am Bande ab.

Dies CO von CL subtrahiert, ergiebt OL.

Ist $OL = 10$ cm, so ist das untersuchte Auge emmetropisch, da das umgekehrte Bild im Brennpunkte der Linse L liegt. Ist OL kleiner als 10 cm, so besteht Myopie, ist es größer als 10 cm, Hypermetropie, und zwar entspricht jeder Centimeter Unterschied von 10, einer Dioptrie der Ametropie.

A. E. Fick (170) sucht das umgekehrte Bild in folgender Weise zur Bestimmung der Refraktion zu verwenden. Er entwirft dasselbe, ähnlich wie Schmidt-Rimpler, mit einer, 10 cm vor dem Hauptpunkte des untersuchten Auges aufgestellten Konvexlinse von 10 D., und sucht den Or

desselben auf mit Hilfe eines Fadennetzes. Dasselbe wird erst so gestellt, dass ein Faden sich mit dem Bilde eines Netzhautgefäßes deckt. Dann ermittelt man, durch kleine Bewegungen des Kopfes, ob die beiden in der gleichen vertikalen Ebene liegen. Scheint dem Beobachter, beim Bewegen seines Kopfes, das Netzhautbild größere Exkursionen zu machen, als der Faden, so liegt es vor demselben, und umgekehrt. Das Netz wird dann so weit verschoben, bis die beiden sich vollkommen decken, d. h. bis, bei Bewegung des Kopfes, Faden und Gefäßbild sich nicht mehr trennen. Aus der Entfernung des Bildes, und derjenigen der Linse von dem untersuchten Auge, lässt sich, in schon mehrfach besprochener Weise, die Refraktion desselben leicht ableiten. Die Methode soll besonders in Fällen von Trübungen der Medien, gute Dienste leisten.

§ 65. Es versteht sich von selbst, dass die Refraktion des Auges einen Einfluss haben muss auf die Größe, in welcher dem Beobachter die Gegenstände des Augengrundes erscheinen. Man könnte deshalb denken, dass auch die Vergrößerung des Augenspiegelbildes zur Refraktionsbestimmung dienen sollte.

Was das aufrechte Bild anbelangt, so ist leicht einzusehen, dass die Stellung der Hilfslinsen auf die Größe des Augenspiegelbildes gerade den umgekehrten Einfluss haben muss, als auf die Größe des Netzhautbildes. Steht, eine gleiche Brechkraft vorausgesetzt (Achsenametropie), das Korrektionsglas im vorderen Brennpunkte des untersuchten Auges, so ist die Vergrößerung, für Ametropie wie für Emmetropie, die gleiche.

Steht es weiter vom Auge ab, so ist die Vergrößerung geringer für Hypermetropie, stärker für Myopie, und umgekehrt, wenn das Glas dem Auge näher steht als der vordere Brennpunkt.

Beruht jedoch die Ametropie nicht auf Verschiedenheit der Länge, sondern auf Verschiedenheit der Brechkraft des Auges (Krümmungsametropie), so ist, wenn das Korrektionsglas im vorderen Brennpunkt steht, die Vergrößerung des aufrechten Bildes bei Myopie stärker, bei Hypermetropie schwächer, als bei Emmetropie.

Bei gleicher Art der Korrektion, ist überhaupt die Vergrößerung des aufrechten Bildes bei Krümmungsmyopie stets bedeutender, als bei Achsenmyopie, bei Krümmungshypermetropie geringer, als bei Achsenhypermetropie[1]).

Daraus geht schon hervor, dass man, um die Größe des aufrechten Bildes gehörig verwerten zu können, die Brechkraft des untersuchten Auges kennen müsste, was eben nicht der Fall ist. Sodann muss man das

1) Wir werden diesen Thatsachen, bei der Prüfung der Sehschärfe, wieder begegnen. — Vgl. auch S. 30—40.

Bild deutlich sehen. Zum deutlichen Sehen aber bedarf man des Korrektionsglases, das an und für sich schon zur Lösung unserer Frage, der Bestimmung der Lage des Fernpunktes des Auges, genügt. Endlich enthält der Augengrund kein Objekt von so genau bekannter Größe, dass sich, aus dessen Vergleich mit dem Augenspiegelbilde allein schon, ein sicherer Schluss auf den Grad der Ametropie ziehen ließe.

Die Vergrößerung des aufrechten Augenspiegelbildes liefert also keine praktisch brauchbare Methode zur Feststellung des allgemeinen Refraktionszustandes. Sie hat aber dennoch, wie wir bei der Bestimmung des Astigmatismus sehen werden, eine gewisse Bedeutung in Fällen, wo die Refraktion desselben Auges in verschiedenen Meridianen verschieden ist.

Ähnliches gilt für die Vergrößerung des umgekehrten Bildes. Im allgemeinen hängt die Vergrößerung, außer von dem optischen Baue des Auges, ab von der Stärke, und der Stellung der zur Erzeugung des umgekehrten Bildes verwendeten Konvexlinse. Ihr Einfluss auf die Größe dieses Bildes ist umgekehrt dem Einflusse, den sie, bei der subjektiven Optometrie, auf die Größe des Netzhautbildes ausübt[1]).

Für das emmetropische Auge, ist die Vergrößerung (v) des umgekehrten Bildes der Brennweite der Konvexlinse (F) direkt, der vorderen Brennweite des Auges (F') umgekehrt proportional,

$$v = \frac{F}{F'},$$

und zwar unabhängig von der Stellung der Linse.

Fällt der Brennpunkt der Konvexlinse mit dem vorderen Brennpunkte des Auges zusammen, so ist die Vergrößerung (bei gleicher Brechkraft, d. h. bei Achsenametropie) für Augen jeder Refraktion dieselbe. (Bei Krümmungshypermetropie dagegen ist sie stärker, bei Krümmungsmyopie schwächer, als für das emmetropische Auge.)

Liegt der Brennpunkt der Konvexlinse, wie gewöhnlich, dem untersuchten Auge näher als dessen vorderer Brennpunkt, so ist die Vergrößerung bei Achsenmyopie schwächer, bei Achsenhypermetropie stärker, als bei Emmetropie. Also darf man, unter gewöhnlichen Umständen, wo der Brennpunkt der Linse ungefähr in die Pupillarebene des untersuchten Auges fällt, von einem besonders großen umgekehrten Bilde auf Hypermetropie, von einem besonders kleinen auf Myopie schließen. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn die Linse so weit vom Auge entfernt steht, dass ihr Brennpunkt weiter von demselben abliegt, als dessen vorderer Brennpunkt.

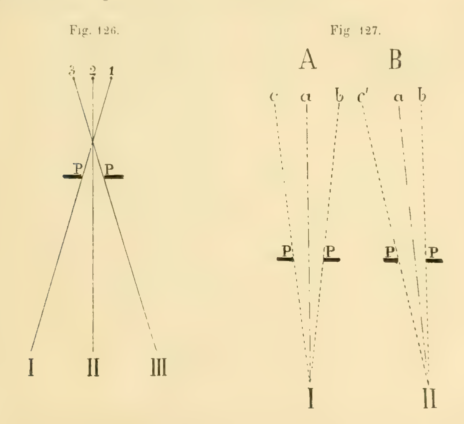
Annäherung der Konvexlinse ans Auge bewirkt, bei Myopie stets Verkleinerung, bei Hypermetropie Vergrößerung des umgekehrten Bildes, und vice versa.

1) Vgl. S. 40—47.

Daraus lässt sich, wenn auch nicht der Grad, so doch die Natur der Ametropie erkennen. Namentlich aber giebt der Wechsel der Größe des umgekehrten Bildes ein Mittel an die Hand, Astigmatismus zu diagnostizieren, weil, in diesem Falle, bei Annähern und Entfernen der Konvexlinse vom untersuchten Auge, wegen der Verschiedenheit der Refraktion in verschiedenen Meridianen, ein Wechsel der Form des beobachteten Objektes, namentlich der Papille entsteht.

Die Parallaxe bei der Refraktionsbestimmung.

§ 66. Mit Parallaxe bezeichnet man die scheinbare Verschiebung, welche die Gegenstände des Augengrundes eingehen, wenn das beobachtende Auge seine Stellung wechselt.

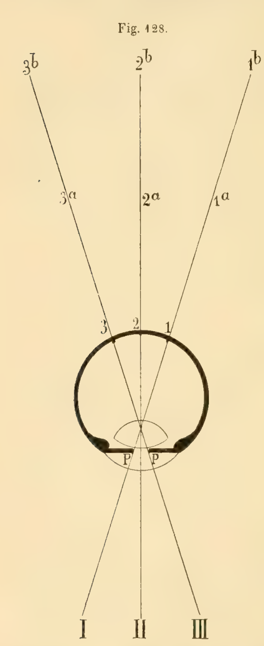


In Fig. 126, 127 A und B, stellt der horizontale Strich ein Diaphragma, *PP* eine darin angebrachte Öffnung dar. Seien *1*, *2* und *3* drei dahinter gelegene Punkte.

Bewegt sich unser Auge von links nach rechts, von *I* nach *II* und *III* rückend, so bekommt es successive die Punkte *1*, *2* und *3* zu Gesicht, gerade wie wenn dieselben, bei unbewegtem Auge, von links nach rechts, hinter der Öffnung vorbeigezogen wären. Ihre Scheinbewegung, die Parallaxe, ist also dieselbe wie die Ortsveränderung des Auges.

Oder nehmen wir an, der Beobachter richte sein Augenmerk besonders auf den Punkt a (Fig. 127 A). Steht sein Auge in I, so wird er links von a noch die Strecke ac, rechts davon die Strecke ab überschauen. Verlegt er nun sein Auge nach rechts (II Fig. 127 B), so ist die Strecke rechts von a, auf ab zusammengeschrumpft, während linkerseits ac auf ac' angewachsen ist, als ob der Punkt a mit dem beobachtenden Auge von links nach rechts gewandert wäre.

Fig. 128.



Ist nun PP die Pupille, und sind 1, 2, 3 Punkte des untersuchten Augengrundes, so betrachtet der Beobachter dieselben allerdings nicht so direkt, wie dies in umstehenden Figuren dargestellt ist, sondern durch das dioptrische System dieses Auges. Die Parallaxe ist jedoch dieselbe, so lange der Beobachter vom Augengrunde ein aufrechtes Bild erhält.

Ist der Untersuchte z. B. stark hypermetropisch, und liegt sein Fernpunkt in 2^a (Fig. 128), so erscheint das aufrechte Bild seines Augengrundes in einer, durch 2^a gehenden Ebene hinter demselben, und die drei Punkte 1, 2, 3 der Netzhaut werden, wenn der Beobachter sich von links nach rechts bewegt (I, II, III), die gleiche Bewegung mitmachen, nur ist ihre scheinbare Exkursion, der Vergrößerung des Bildes entsprechend, eine größere: statt die Strecke 1 bis 3, scheint die Strecke 1^a bis 3^a hinter der Pupille vorbeigezogen zu sein.

Liegt der Fernpunkt des hypermetropischen Auges weiter ab, z. B. in 2^b (schwächere Hypermetropie), so ist die parallaktische Verschiebung noch größer (1^b, 3^b). Und liegt der Fernpunkt in Unendlich, wie bei natürlicher oder durch ein Korrektionsglas erzeugter Emmetropie, so ist dieselbe erst recht groß.

Die Beobachtung der Parallaxe ist aber eine so prekäre, dass sie sich nicht zu genauer Optometrie eignen würde. Das allein geht aus einer

solchen homonymen Parallaxe hervor, dass man es mit einem aufrechten Bilde zu thun, also Hypermetropie höheren, oder geringeren Grades vor sich hat.

In der That, ophthalmoskopiert der Beobachter mit unbewaffnetem, aber akkommodationstüchtigem Auge, so dass er sich auf jede Entfernung des negativen Fernpunktes des untersuchten Auges leicht adaptiert, so kann er, aus relativ geringer Parallaxe, auf hochgradige, aus ausgiebiger Parallaxe, auf schwache Hypermetropie schließen.

Fig. 129.

Das Umgekehrte findet, selbstredend, im umgekehrten Bilde statt.

Sei, in Fig. 129, *1a*, *2a*, *3a* das umgekehrte Bild von *1*, *2*, *3* des untersuchten Augengrundes. Richtet der Beobachter, von *II* aus, sein Augenmerk auf den Punkt *2a*, der für ihn in der Mitte des durch die Pupille umgrenzten Gebietes liegt, und bewegt sich dann gegen rechts nach *III*, von wo aus er einen größeren Teil der, in Wirklichkeit links von *2* gelegenen Strecke *2*, *3* weniger von *2*, *1* überschaut, so hat, im umgekehrten Bilde, die von ihm aus rechts gelegene Strecke *2a*, *3a* zu, die links gelegene *2a*, *1a* abgenommen. Er gewinnt also den Eindruck, der Punkt *2* sei nach links gewandert, während er sein Auge nach rechts verlegt hat.

Aus einer derartigen heteronymen Scheinbewegung schließt der Beobachter mit Sicherheit, dass er es mit einem umgekehrten Bilde und, wenn dasselbe ohne Intervention eines Konvexglases zu stande kommt, mit einem myopischen Auge zu thun hat. Auch hier ist wiederum die Scheinbewegung um so geringer, je stärker die Ametropie ist, denn, je schwächer die Myopie, desto weiter vom Auge entfernt kommt das umgekehrte Bild zu stande, desto größer ist es, und desto größer sind auch seine Exkursionen.

Das ist aber auch alles, was für die Refraktionsbestimmung mit dieser Parallaxe Ersprießliches zu gewinnen ist.

Nicht viel mehr kommt bei der Parallaxe heraus, welche durch die Bewegung der das umgekehrte Bild erzeugenden Konvexlinse entsteht.

Wie leicht zu sehen und einzusehen, macht ein solches Bild die in der Ebene der Trennungsfläche der Linse ausgeführten Bewegungen derselben

im gleichen Sinne mit. Bewegt sich die Linse nach rechts, so geht das Bild auch nach rechts, geht sie nach oben, so steigt auch das Bild in die Höhe u. s. f.

Es ist selbstverständlich, dass diese Scheinbewegung des Bildes um so ausgiebiger sein muss, je weiter von der Linse entfernt dasselbe zu stande kommt. Also wird es, für dieselbe Linse und den gleichen Abstand derselben vom untersuchten Auge, um so größere Exkursionen machen, je schwächer die Refraktion des Auges ist, um so kleinere, je stärker sie ist.

Man kann sich diese Beobachtung dadurch erleichtern, dass man in das, zur Erzeugung des umgekehrten Bildes benutzte Konvexglas, zwei sich senkrecht durchkreuzende Linien ritzt.

Aber das sind verhältnismäßig geringfügige Anhaltspunkte zur Refraktionsbestimmung. Sie haben einen gewissen Wert nur für den geübten Ophthalmoskopiker, der sich stets derselben Linsen bedient, und sich von deren Abstand vom untersuchten Auge genau Rechenschaft giebt.

Objektive Optometrie mit Hilfe von Zerstreuungsbildern.

§ 67. Wie auf subjektivem, so kann man auch auf objektivem Wege die Refraktion eines Auges ohne die Zuhilfenahme scharfer optischer Bilder zu bestimmen suchen. Sind doch die Zerstreuungskreise eines Punktes ebenso sehr vom Refraktionszustande des Auges abhängig, wie das deutliche Bild, das von demselben erzeugt wird.

Die bekannteste derartige Methode beruht auf der Beobachtung des ophthalmoskopischen Beleuchtungslichtes auf dem untersuchten Augengrunde. Man heißt sie meistens Skiaskopie, zu deutsch Schattenprobe.

Möge uns der geneigte Leser die Erklärung dieses Namens bis auf weiteres noch erlassen, und nicht mehr darauf achten, als wenn wir ihm z. B. unter dem Titel »Katarakt« von der Trübung der Linse sprechen würden. Unsere Auseinandersetzungen werden ohne Rücksicht auf diesen dunkeln Namen nur an Klarheit gewinnen.

So betrachten wir denn, was mit dem Lichte geschieht, mit welchem wir den zu untersuchenden Augengrund erleuchten. Die Lichtquelle sei dargestellt durch eine neben dem Kopfe des Patienten stehende Lampenflamme L (Fig. 130), deren Licht wir mit dem einfachen Planspiegel SS in das Auge reflektieren.

Es kommt nun offenbar für das untersuchte Auge U auf dasselbe heraus, ob die in L befindliche Flamme, durch den Spiegel, in der Entfernung Lx reflektiert werde, oder in L', d. h. in der doppelten Entfernung $2 \cdot Lx$, direkt vor ihm stehe.

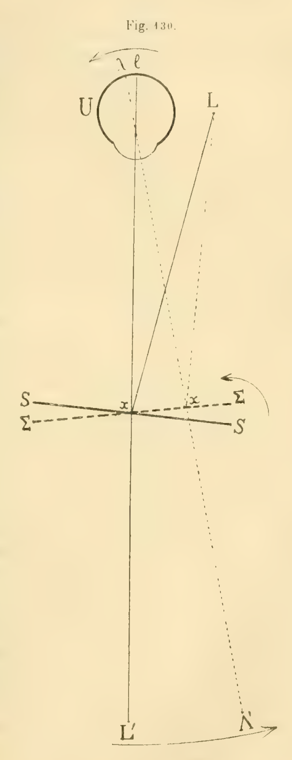
Das Reflexbild L' der Flamme L wird also zum Objekte für das untersuchte Auge U.

Das Auge erhält nun von jedem vor ihm stehenden Objekte ein umgekehrtes Bild, mögen die von dem Objekte ausgehenden Strahlen vor, oder hinter der Netzhaut, oder genau auf derselben zur Vereinigung kommen.

Dies wird aus Fig. 131 sofort klar. Die vom Punkte A des Objektes AB ausgehenden Strahlen würden durch das dioptrische System des Auges in α, die von B ausgehenden in β vereinigt. Auf der Retina HH würden erstere, vor ihrer Vereinigung, einen Zerstreuungskreis cd, auf der Retina MM, nach ihrer Vereinigung, einen Zerstreuungskreis dc bilden, während der von B ausgehende Strahlenkegel, durch HH, vor seiner Vereinigung, in ef, durch MM, nach seiner Vereinigung, in fe geschnitten würde.

Kreuzen sich nun auch die von demselben Punkte ausgehenden Strahlen untereinander im konjugierten Brennpunkte (die von A kommenden in α, die von B kommenden in β), so liegen doch die Zerstreuungsbilder, ebenso wie das scharfe Bild desselben Punktes, auf derselben Seite der Hauptachse, d. h. auf der dem Objektpunkte entgegengesetzten Seite: die des darüber liegenden Punktes A darunter, die des tiefer liegenden Punktes B darüber. D. h. das Bild ist immer, in Bezug auf das Objekt, umgekehrt gerichtet.

Fig. 130.



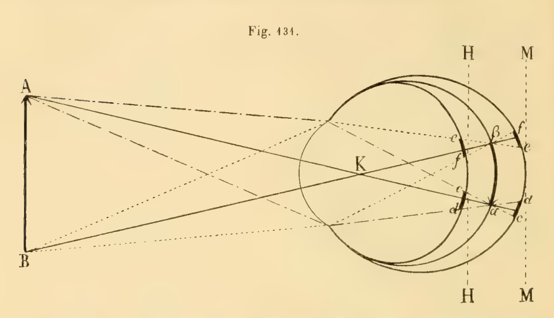
Das Netzhautbild der Flamme wird nur in einem Falle völlig scharf sein, nämlich wenn das Auge U auf dieselbe eingestellt ist. Steht z. B. der Spiegel 1 m vor L und U, so ist L' 2 m von dem Auge entfernt, und dasselbe muss auf 2 m eingestellt sein, d. h. 0,5 D. positive Refraktion besitzen, um die Flamme deutlich zu sehen. Je mehr in diesem Falle die Refraktion

von 0,5 D. differiert, desto undeutlicher wird das Flammenbild auf der Netzhaut.

Auf die Schärfe des Netzhautbildes kommt es jedoch bei dieser Methode nicht an, wohl aber auf die Richtung, in welcher dasselbe dem Beobachter erscheint.

Dies hängt nun davon ab, ob die von dem untersuchten Augengrunde kommenden Strahlen erst durch das dioptrische System des Beobachters, oder schon vor Eintritt in dasselbe, zur Vereinigung kommen.

Fig. 131.



Nehmen wir den ersten Fall: Das geschieht einmal, wenn das untersuchte Auge hypermetropisch oder emmetropisch ist, wobei die austretenden Strahlen, weil divergent oder parallel, sich überhaupt nicht vereinigen. — Auch bei Myopie kann das vorkommen, obschon in diesem Falle die austretenden Strahlen konvergieren, dann nämlich, wenn der Konvergenzpunkt derselben, resp. der Fernpunkt des myopischen Auges, nicht zwischen demselben und dem Auge des Beobachters, sondern hinter dem letzteren liegt, die Strahlen also noch konvergent in dasselbe eintreten.

In allen diesen Fällen entsteht, im Auge des Beobachters, ein umgekehrtes Bild des untersuchten Augengrundes, ein Bild, wie es alle direkt betrachteten Objekte liefern. Und, wie die Bilder dieser Objekte, so wird auch das Bild des untersuchten Augengrundes noch einmal umgekehrt, d. h. aufrecht, nach außen projiziert. Mit einem Worte: Vereinigen sich die von dem untersuchten Augengrunde kommenden Strahlen erst nach ihrem Eintritt in das beobachtende Auge, so erscheinen dem letzteren die Objekte des untersuchten Augengrundes aufrecht, d. h. in der Lage, die sie wirklich inne haben: was oben ist, erscheint oben, was rechts ist, rechts u. s. w.

So sieht denn der Beobachter das Netzhautbild l (Fig. 130) der Flamme L so, wie es wirklich ist, d. h. umgekehrt, in Beziehung zu seinem Objekte L'.

Fig. 132.

Drehen wir nun den Spiegel SS (Fig. 130) im Sinne des Pfeiles, in die Lage $\Sigma\Sigma$, so kommt das auf dasselbe heraus, als hätte sich eine Flamme L' nach A' begeben. Ihr Netzhautbild wird, im umgekehrten Sinne, von l nach λ wandern. Diese Bewegung wird der Beobachter wiederum so sehen, wie sie in Wirklichkeit vor sich geht, d. h. im gleichen Sinne wie die Bewegung seines Spiegels.

Umgekehrt verhalten sich die Dinge, wenn sich die aus dem untersuchten Auge kommenden Strahlen zu einem umgekehrten Bilde vereinigen, ehe sie das Auge des Beobachters erreichen (Fig. 132). Dies ist z. B. der Fall bei einem myopischen Auge, dessen Fernpunkt zwischen ihm und dem Auge des Beobachters liegt. So wie dabei oben und unten, rechts und links vertauscht erscheinen, so ist auch die Bewegung des Bildes der Beleuchtungsflamme eine der Bewegung des Planspiegels entgegengesetzte.

Sei l' (Fig. 132) der Fernpunkt des untersuchten Auges, so wird in diesem Punkte das reelle Bild des beleuchteten Netzhautpunktes l entstehen. Ist λ ein anderer Punkt des Augengrundes, so entsteht sein Bild in λ', und ist $l\lambda$ ein Objekt, so ist $l'\lambda'$ dessen umgekehrtes Bild.

Betrachten wir, der Einfachheit halber, den Punkt l allein, und drehen wir den Spiegel wieder, im Sinne des Pfeiles, von rechts nach links, aus der Lage SS in die Lage $\Sigma\Sigma$, so dass l nach λ zu liegen kommt, so

wandert der Punkt l im umgekehrten Bilde von l' nach λ', d. h. in der dem Spiegel entgegengesetzten Richtung.

Die besprochenen Phänomene betrachtet man nun durch die Pupille des untersuchten Auges. Nehmen wir an, wir haben es mit dem linken Auge zu thun und dessen Fernpunkt liege hinter demselben (Hypermetropie) oder doch hinter unserem Kopfe (schwache Myopie). — Wir halten den Planspiegel so, dass das Licht erst auf die linke Schläfe des Untersuchten fällt, und drehen ihn dann so, dass dasselbe, von uns gesehen, von rechts nach links, d. h. nach der Nase zu, über das Auge des Untersuchten gleitet. So wird die Pupille von der temporalen Seite her zu leuchten anfangen, bis sie, bei einer gewissen Stellung des Spiegels, in vollem Glanze steht. Bei weiterer Drehung desselben, wird bald nur noch die nasale Seite der Pupille erleuchtet, der Rest dunkel sein, bis endlich kein Licht mehr aus dem untersuchten Auge in das unsrige dringt, die Pupille wieder schwarz erscheint. Mit einem Wort: Wir sehen das Bild der Lichtquelle die Pupille im gleichen Sinne durchwandern, wie die Drehung des Planspiegels ($l\lambda$ Fig. 130).

Liegt aber der Fernpunkt des untersuchten Auges zwischen demselben und dem Auge des Beobachters (Fig. 132), so muss, wie oben nachgewiesen, das Umgekehrte stattfinden. Bei Drehung des Planspiegels von rechts nach links, geht zwar das Licht im Augengrunde auch wieder von l nach λ, dessen Bild, d. h. die Beleuchtung der Pupille aber von links nach rechts ($l'\lambda'$). Dreht sich der Planspiegel, um eine horizontale Achse, von oben nach unten, so geht die Beleuchtung von unten nach oben u. s. w., und zwar deswegen, weil der Beobachter, was er eben im aufrechten Bilde sah, nun im umgekehrten vor sich hat[1]).

Benutzt man zur Beleuchtung des Auges einen konkaven Spiegel, so müssen sich die Verhältnisse, wie leicht einzusehen, gerade umgekehrt gestalten wie beim Planspiegel.

In der That haben die zur Ophthalmoskopie gebrauchten Konkavspiegel eine so kurze Brennweite, und stellt man sich bei dieser Methode der Optometrie gewöhnlich so weit von dem untersuchten Auge auf, dass die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen, vom Konkavspiegel reflektiert, zu einem reellen umgekehrten Bilde vereinigt werden, ehe sie in das untersuchte Auge dringen. Dies umgekehrte Bild der Beleuchtungsflamme wird also zum Objekt für das untersuchte Auge. Sein mehr oder weniger diffuses Bild erhellt dessen Netzhaut.

1) Wie man sieht, hat dieses Phänomen viele Ähnlichkeit mit demjenigen der parallaktischen Verschiebung der Netzhautgefäße. Wie dort, so handelt es sich hier darum, zu bestimmen, ob man es mit einem aufrechten, oder mit einem umgekehrten Bilde des untersuchten Auges zu thun hat, nur mit dem Unterschiede, dass wir zur Hervorrufung der Parallaxe unseren Kopf bewegen, während wir hier das Flammenbild, das zum Netzhautobjekte wird, bewegen.

Das umgekehrte Bild wandert selbstverständlich in dem den Bewegungen des Spiegels entgegengesetzten Sinne.

Sieht der Beobachter den untersuchten Augengrund im aufrechten Bilde (Hypermetropie, Emmetropie und schwache Myopie), so bewegt sich die Beleuchtung der Pupille in dem der Drehung des Konkavspiegels entgegengesetzten Sinne.

Kommt dagegen von dem untersuchten Augengrunde, wie bei hochgradiger Myopie, ein reelles umgekehrtes Luftbild zu stande, so geht die Beleuchtung der Pupille in gleicher Richtung wie die Drehung des Konkavspiegels.

Fig. 133.

Sei, in Fig. 133,

B das beobachtende Auge,
U das untersuchte Auge,
L das Licht,
CC der Konkavspiegel.

Hat der letztere eine Brennweite von 20 cm, und steht er 150 cm von der Lampe entfernt, so wird er, in 23 cm, ein umgekehrtes Bild *l* der Flamme entwerfen.

Dies reelle Flammenbild *l* spielt, dem untersuchten Auge *U* gegenüber, die Rolle eines leuchtenden Objektes, das 100 — 23 = 77 cm vor ihm steht, wenn der Spiegel 1 m von diesem Auge entfernt ist.

Das untersuchte Auge erhält nun von *l* ein umgekehrtes und, je nach seiner Einstellung, mehr oder weniger scharfes Bild λ. Da dies Bild λ ein, in Bezug auf sein Objekt *l*, umgekehrtes ist, so sind auch seine Exkursionen denen des Objektes entgegengesetzt: steigt *l* nach *l'*, so fällt λ nach λ'.

Die beleuchtete Stelle des untersuchten Auges wird nun ihrerseits zum Objekte für das beobachtende Auge *B*.

Ist das untersuchte Auge hypermetropisch, emmetropisch oder so gering myopisch, dass die von seiner Netzhaut kommenden Strahlen

sich nicht schon vereinigen, ehe sie in das Auge des Beobachters gelangen, so sieht letzterer die Netzhaut des untersuchten Auges im aufrechten Bilde, d. h. die Objekte des Augengrundes in ihrer wirklichen Stellung, und alles, was im Augengrunde vorgeht, so wie es in Wirklichkeit geschieht. Der Beobachter wird also in diesem Falle bemerken, dass, bei Drehung des Spiegels von rechts nach links, oder von der Stellung CC in die Stellung $C'C'$, das Licht in dem untersuchten Auge von links nach rechts, resp. von λ nach λ', d. h. im umgekehrten Sinne wandert wie der Spiegel sich dreht.

Ist dagegen das untersuchte Auge so stark myopisch, oder überhaupt so eingestellt, dass sein Fernpunkt zwischen ihm und dem beobachtenden Auge liegt, z. B. in R (Fig. 133), so entsteht, in dieser Entfernung, ein reelles umgekehrtes Bild der beleuchteten Stelle seiner Netzhaut. Da λ umgekehrt ist zu l, und R umgekehrt zu λ, so muss also R die gleiche Richtung haben wie l, und sich umgekehrt wie λ, d. h. gleichnamig mit l, also auch mit dem Spiegel bewegen. Mit einem Worte: Ist das untersuchte Auge so stark myopisch, dass sein Fernpunkt vor dem Beobachter liegt, so scheint das Beleuchtungsbild auf seiner Netzhaut sich in gleichem Sinne mit der Drehung des konkaven Spiegels zu bewegen.

Zwischen dem Falle, wo die Beleuchtung der Pupille mit dem Spiegel, sei er plan oder konkav, in gleichem Sinne, und demjenigen, wo sie in entgegengesetztem Sinne wandert, liegt der Fall, wo die Bewegung des Lichtes nicht zu erkennen ist, weil die Pupille, in ihrer Gesamtheit, entweder hell oder dunkel erscheint. Dies geschieht, wenn der Fernpunkt, resp. die der Netzhaut des untersuchten Auges konjugierte Brennebene, in die Pupille des Beobachters fällt.

Man hat diesen Fall mit dem Namen des neutralen Punktes bezeichnet.

Aus dem bisher Gesagten geht schon hervor, dass sich die Beobachtung der Beleuchtung der Pupille, die Koroskopie (κόρη = Pupille), wie ich sie zu benennen vorgeschlagen (128a), die Schattenprobe (Skiaskopie), wie man sie ziemlich allgemein heißt, in mehrfacher Weise zur Refraktionsbestimmung verwerten lassen muss.

1. Man bestimmt den neutralen Punkt, d. h. die Entfernung des untersuchten Auges vom Beobachter, bei welcher keine Bewegung des Lichtes in der untersuchten Pupille mehr wahrzunehmen ist, wobei also der Einstellungspunkt des Untersuchten in die Pupille des Beobachters fällt.

Selbstverständlich müssen dazu Hypermetropie, Emmetropie und leichte Myopie, die mittelst einfacher Drehung des Spiegels sofort erkennbar sind, durch Vorsetzen eines Konvexglases, in höhergradige Myopie verwandelt werden, mit anderen Worten, der Einstellungspunkt dieser Augen muss in relativ kurze, positive Entfernung gebracht werden. Das dazu nötige

Konvexglas wird dann bei der Bestimmung der Refraktion in Rechnung gebracht.

2. Man behält eine konstante Beobachtungsentfernung bei, und sucht das Glas, welches, vor das untersuchte Auge gesetzt, die Bewegung seines Pupillarreflexes aufhebt, d. h. dessen Einstellungspunkt in die Pupille des Beobachters bringt.

3. Sobald man von der Theorie zur Praxis übergeht, findet man, dass der sogenannte neutrale Punkt weit entfernt ist, ein Punkt zu sein, dass es vielmehr eine ziemlich ausgedehnte Strecke giebt, auf welcher man die Bewegung des Lichtes im Augengrunde nicht deutlich zu erkennen im stande ist. Es ergiebt sich daraus eine dritte Methode der Koroskopie, die darin besteht, die Endpunkte der neutralen Zone, d. h. die Punkte aufzusuchen, wo sich das Licht erst in der einen, sodann in der entgegengesetzten Richtung bewegt, und die Mitte zwischen beiden zu bestimmen.

§ 68. Ohne den Erscheinungen dieser Methode der Optometrie bis in alle Details nachzugehen, was uns hier zu weit führen würde, dürfte es vielleicht angezeigt sein, deren Prinzip wenigstens, an der Hand einiger einfacher Zeichnungen, noch klarer zu machen.

Wir müssen uns vor allen Dingen davon Rechenschaft geben, dass man bei der Koroskopie, oder Skiaskopie, gleichzeitig zwei ganz verschiedene Objekte betrachtet: einmal das Flammenbild, das unser Spiegel auf dem untersuchten Augengrunde entwirft, sodann den Pupillarrand, welcher die beobachtete Stelle umrahmt.

Um uns über diese Vorgänge Klarheit zu verschaffen, müssen wir also die Netzhautbilder konstruieren, welche der Beobachter von diesen beiden Objekten gleichzeitig erhält.

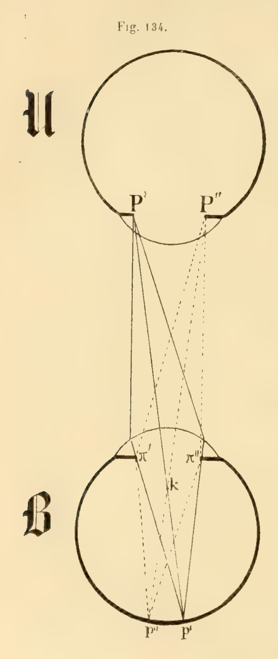
Da dieselben aber nicht nur in verschiedener Entfernung von dem Beobachter liegen, sondern von demselben auch durch sehr verschiedene optische Systeme betrachtet werden, so leuchtet ein, dass höchstens das eine derselben, nie aber beide gleichzeitig ein scharfes Bild auf der Netzhaut des Beobachters entwerfen können. Mit anderen Worten: der Beobachter kann nur entweder auf den Pupillarrand, oder auf den Augengrund des Untersuchten, nie aber zugleich auf beide eingestellt sein.

In der großen Mehrzahl der Fälle, adaptiert sich wohl der Beobachter auf den Pupillarrand; schon deswegen, weil er sein Augenmerk darauf richtet, von welcher Seite die Pupille zu leuchten beginnt, sodann weil ihn dieses scharf begrenzte, in seiner Sehweite liegende Objekt mehr zur Fixation einlädt, als das meist sehr diffuse Bild des Augengrundes, das er oft genug, ohne besondere optische Hilfsmittel, überhaupt nicht scharf zu sehen im stande ist. Das hindert nicht, dass, wenn, wie bei hochgradiger Myopie, der untersuchte Augengrund dem Beobachter spontan ein scharfes.

lichtes Bild darbietet, derselbe dessen Detail sofort im Rahmen der Pupille wahrnimmt. Doch, wie gesagt, ist er meistens auf die Pupille eingestellt.

Wir haben also, in erster Linie, das Bild der Pupille des Untersuchten auf der Netzhaut des Beobachters zu konstruieren.

Fig. 134.

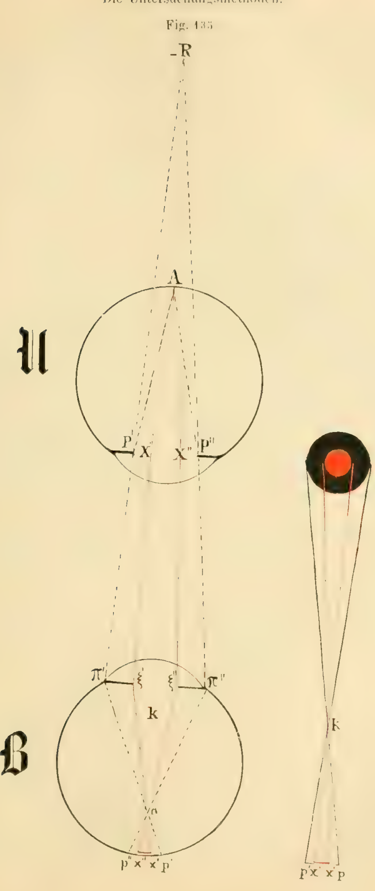


Seien P' und P'' (Fig. 134) die Endpunkte eines Durchmessers der Pupille des untersuchten Auges 𝔘. Das beobachtende Auge 𝔅 betrachtet dieselbe durch den von Cornea und Humor aqueus gebildeten, positiven Meniskus. Das von demselben entworfene, virtuelle Bild der Pupille ist also eigentlich das Objekt für das beobachtende Auge. Um jedoch unsere Überlegungen nicht zu komplizieren, begehen wir den kleinen Fehler, die vordere Kammer zu vernachlässigen, und anzunehmen, die Brechung der Lichtstrahlen finde im Niveau der Pupille statt.

Von den, vom Punkte P' ausgehenden Strahlen, durchläuft einer, $P'kp'$, das dioptrische System des beobachtenden Auges ungebrochen, weil er nach dessen Knotenpunkt k gerichtet ist. Da wir angenommen haben, das Auge 𝔅 sei auf $P'P''$ eingestellt, so bezeichnet der Durchschnittspunkt p' dieses Strahles und der Netzhaut das Bild des Punktes P'. Die übrigen von P' ausgegangenen Strahlen, welche noch in die Pupille des Beobachters gelangen, werden an dessen Hornhaut abgelenkt, und durch dessen dioptrisches System nach dem Punkte p' gebrochen.

Dasselbe findet statt für die von P'' herkommenden Strahlen: Der Richtungsstrahl $P''kp''$ ergiebt sofort das Netzhautbild dieses Punktes, in welchem sich auch die anderen, von P'' ausgegangenen Strahlen vereinigen. Wir haben dieselben bis an den Pupillarrand $\pi''\pi'$ gehen, und sich erst dort brechen lassen, um dem Leser die oben erwähnte kleine

Fig. 135



Unrichtigkeit der Vernachlässigung der vorderen Kammer deutlich zu machen[1]).

p' und p'' sind also die Bilder der entsprechenden Endpunkte des untersuchten Pupillarrandes.

In dem Rahmen, von welchem p' p'' einen Durchschnitt darstellt, spielen sich die Phänomene ab, die wir weiter zu betrachten haben.

Wenden wir uns, in der That, nun zum Grunde des untersuchten Auges, und nehmen an, eine Stelle desselben sei beleuchtet (wie die Beleuchtung zu stande kommt, haben wir schon oben betrachtet), und fragen uns, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die Pupille dieses Auges dem Beobachter leuchtend erscheint?

Leuchten wird dieselbe offenbar in dem Teile, dessen Bild im Auge des Beobachters mit demjenigen der beleuchteten Stelle zusammenfällt.

Sei z. B., in Fig. 135, U wieder das untersuchte, 𝔅 das beobachtende Auge, $p'p''$ das in obiger Weise erhaltene Netzhautbild der untersuchten Pupille, A ein leuchtender Punkt des untersuchten Augengrundes. Dies Auge sei hypermetropisch, und sein (negativer) Fernpunkt liege in $-R$.

Die von A ausgegangenen Strahlen werden also, nach ihrem Austritt aus dem Auge, so divergieren, als kämen sie von $-R$ her. Von diesem Strahlenkegel treten so viele Lichtstrahlen in das beobachtende Auge, als es die Weite seiner Pupille gestattet[2]). Da dessen optisches System nicht auf das entferntere $-R$, sondern auf das nähere $P'P''$ eingestellt ist, so werden die von $-R$ ausgehenden Strahlen schon vor der Netzhaut dieses Auges, z. B. in a vereinigt, um nachher wieder divergierend auseinander zu gehen.

Um diesen Punkt a durch Konstruktion zu finden, betrachten wir die Strahlen RP' und RP'', und nehmen an, die Pupille des Beobachters erstrecke sich bis $x'x''$, d. h. sie sei weit genug, um diesen Strahlen noch Eingang zu verschaffen. Wir wissen nun, dass der Strahl $P'x'$ gegen p', der Strahl $P''x''$ gegen p'' hingelenkt wird. Da die beiden Strahlen aber dem gleichen Bündel angehören, so muss ihr Durchschnittspunkt a dem Bilde des Punktes A entsprechen.

Der durch ihr darauffolgendes Auseinandergehen entstehende Zerstreuungskreis $p''p'$ deckt sich, wie man sieht, mit dem Bilde der beobachteten Pupille. Hätte die Pupille des Beobachters den Durchmesser $x'x''$, so müsste die untersuchte Pupille also in ihrer ganzen Ausdehnung leuchtend

1) Wir erlauben uns, gleich hier auf eine Thatsache aufmerksam zu machen, die in der Folge eine große Wichtigkeit für uns haben wird, nämlich diejenige, dass alle Strahlen, die von P' ausgehen, nach ihrem Eintritt in die Pupille des Beobachters, dem Punkte p', alle von P'' ausgehenden dem Punkte p'' zustreben.

2) Bei metallenen oder belegten gläsernen Spiegeln, spielt offenbar die durchbohrte, resp. des Belages befreite Stelle die Rolle der Pupille des Beobachters.

erscheinen. Dies ist in der That immer der Fall, wenn alle, die untersuchte Pupille verlassenden, einem Bündel angehörenden Strahlen, in das beobachtende Auge dringen. Da aber in unserem Beispiele die Pupille des Beobachters nicht die Weite $x'x''$, sondern nur die von $\xi'\xi''$ besitzt, so wird der Durchmesser des Zerstreuungskreises nicht durch die Linien $x'ap'$ und $x''ap''$, sondern durch $\xi'ax'$ und $\xi''ax''$ bezeichnet. Er ist gleich der Strecke $x'x''$, die wir rot gezogen haben.

Dieser Zerstreuungskreis wird, wie das Bild der Pupille, in welchem er entsteht, in der daneben angedeuteten Weise, nach außen projiziert. So erblickt also der Beobachter, in der Entfernung, für die er eingestellt ist, die schwarze Pupille, und darin einen leuchtenden Kreis.

In analoger Weise finden wir das Zerstreuungsbild eines anderen Punktes B (Fig. 136) des untersuchten Augengrundes. Diesem Punkte des hyperopischen Auges U entspricht, in der Fernpunktsdistanz, der virtuelle Bildpunkt $-\beta$. — Von den davon ausgehenden Strahlen fassen wir denjenigen ins Auge, der durch P' geht. Er gelangt in das beobachtende Auge und geht darin, wie wir wissen, nach dem Punkte p'. Auf diesem Strahle muss das Bild von β liegen, und zwar ebensoweit, wie a von der Netzhaut entfernt, also in b. — In diesem Punkte schneiden sich alle von β, resp. B, herkommenden, in die Pupille des Beobachters gelangenden Strahlen.

Die Linie $\xi'bp'$ giebt den einen, $\xi''bx''$ den anderen Endpunkt des Durchmessers des Zerstreuungskreises des Punktes B an. Da derselbe gerade den Rand p' des Pupillenbildes berührt, so wird für den Beobachter das nebenan gezeichnete, durch k nach außen projizierte Bild entstehen.

Nehmen wir an, das Licht sei von A nach B gewandert, so erhellt auch aus den Figuren 135 und 136 wieder, dass, im hyperopischen Auge, die Beleuchtung der Pupille sich im gleichen Sinne bewegt, wie das Licht auf der Netzhaut.

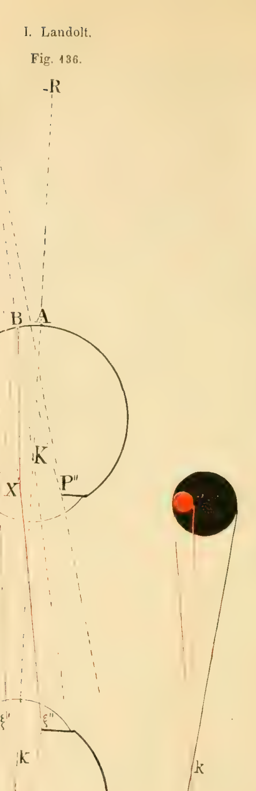
Ist die Strecke AB beleuchtet, so wird auch, vom Beobachter aus gesehen, die ganze linke Hälfte der untersuchten Pupille leuchten. Und, ist nicht nur eine Linie, sondern eine Fläche der Netzhaut beleuchtet, so erscheint eben auch die Pupille nicht nur in einem Durchmesser, sondern in der ganzen entsprechenden Ausdehnung leuchtend.

In ähnlicher Weise wie für das hyperopische, können wir die Beleuchtungsverhältnisse der Pupille für ein myopisches Auge konstruieren.

Hiebei kommen jedoch drei verschiedene Fälle in Betracht. Entweder liegt der Fernpunkt des untersuchten Auges jenseits des beobachtenden Auges, oder er liegt vor demselben, oder er fällt gerade in das beobachtende Auge.

Betrachten wir zunächst den Fall, wo der Fernpunkt des untersuchten jenseits des beobachtenden Auges liegt.

Fig. 136.



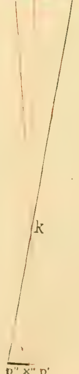
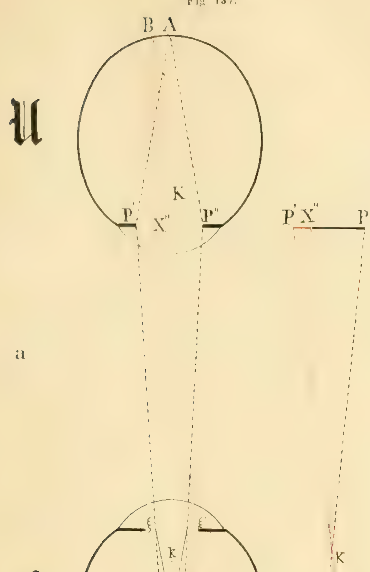


Fig. 137.



Sei $\mathfrak{U}$ (Fig. 137) das untersuchte Auge, A ein leuchtender Punkt seiner Netzhaut. Ohne Dazwischenkunft des beobachtenden Auges, würde im Fernpunktabstande, d. h. in R, ein reelles Bild von A entstehen. Die dahin konvergierenden Strahlen werden aber, durch das Auge $\mathfrak{B}$, vorher schon, in a, zur Vereinigung gebracht. Den Punkt a finden wir dadurch, dass wir die von den Pupillenpunkten P' und P'' herkommenden Strahlen, nach ihrem Eindringen in das Auge $\mathfrak{B}$, mit den entsprechenden Punkten p' und p'' verbinden. Wo sie sich schneiden, d. h. in a, liegt das Bild von A. Der Zerstreuungskreis $p'p''$, den sie auf der Netzhaut bilden, deckt sich mit dem Bilde der untersuchten Pupille. Diese wird also in ihrer Gesamtheit leuchten.

Die von dem Punkte B ausgehenden Strahlen würden sich in β vereinigen, wenn sie nicht das Auge $\mathfrak{B}$ auffinge. Allerdings dringen sie bei weitem nicht alle in dessen Pupille. Dies findet nur statt für das zwischen den voll ausgezogenen roten Linien enthaltene Bündel. Der von P' herkommende Strahl strebt, nach seinem Eintritte in $\mathfrak{B}$, dem Punkte p' zu, und giebt uns somit die Linie an, auf welcher wir das Bild von B zu suchen haben. Es liegt offenbar ebensoweit von der Netzhaut entfernt, wie das von A, also in b. In diesem Punkte kreuzen sich alle von B ausgegangenen Strahlen, die in das beobachtende Auge gelangen. Sie bilden also auf dessen Netzhaut einen Zerstreuungskreis, von dem $p'x''$ einen Durchmesser darstellt.

Projizieren wir diese Strecke $p'x''$, durch den Knotenpunkt k, nach außen, so erhalten wir $P'X''$ (Fig. 137b), als den Durchmesser des beleuchteten Teiles der untersuchten Pupille, für den Punkt B.

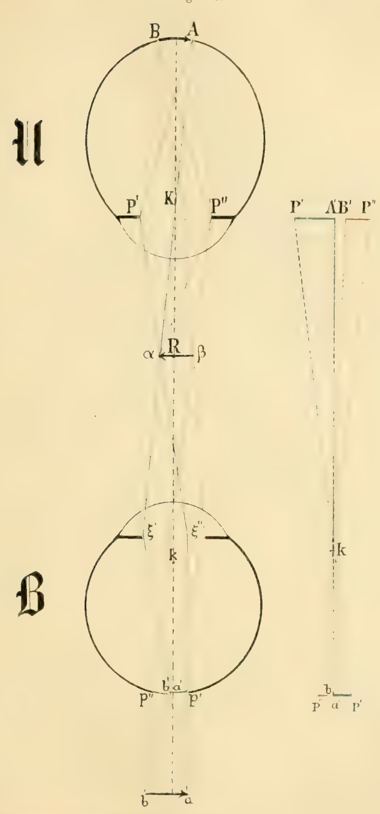
Wie im hypermetropischen, so bewegt sich also auch im myopischen Auge, dessen Fernpunkt jenseits des Beobachters liegt, die Beleuchtung der Pupille im gleichen Sinne wie der beleuchtete Teil des Augengrundes: von A nach B, von rechts nach links in unserem Beispiele.

Befinden sich auf der Netzhaut von $\mathfrak{U}$ gleichzeitig zwei leuchtende Punkte A und B, so wird dem Beobachter der Teil $P'X''$ der untersuchten Pupille offenbar lichtstärker erscheinen als $x''P''$, da er dem Netzhautstücke $x''p'$ entspricht, das von beiden Lichtpunkten gleichzeitig bestrahlt wird.

Umgekehrt verhält sich die Sache in dem Falle, wenn der Fernpunkt des myopischen Auges zwischen demselben und dem Auge des Beobachters liegt.

Sei $\mathfrak{U}$ (Fig. 138) ein solches stark myopisches Auge, AB ein leuchtendes Objekt seiner Netzhaut. Von demselben entsteht im Abstande des Fernpunktes R, ein umgekehrtes reelles Bild $\alpha\beta$. — Die davon ausgehenden, stark divergierenden Strahlen, können nicht auf der Netzhaut des Beobachters zur Vereinigung kommen, da derselbe auf eine größere Entfernung, die untersuchte Pupille $P'P''$, eingestellt ist. In der That würden

Fig. 138.



sie durch dessen dioptrisches System erst in ba[1]) vereinigt. Auf dessen Netzhaut entsteht also ein Zerstreuungsbild des Objektes AB.

Wäre nur dessen Endpunkt A leuchtend, so würde von demselben das Areal $p'a'$ des beobachtenden Auges bestrahlt, und der nebenan, grün gezeichnete Teil, $P'A'$, der Pupille hell erscheinen.

Würde von B allein Licht ausgehen, so wäre nur das Areal $b'p''$ des Auges 𝔅 beleuchtet, und, nach außen projiziert, würde allein der rot gezeichnete Teil, $B'P''$, der untersuchten Pupille leuchten.

Wie man sieht, leuchtet hier die linke Seite der Pupille: $A'P'$, während die, vom Beobachter aus gesehene, rechte Seite der Netzhaut (A) beleuchtet ist, und umgekehrt. Dem linken Teile des Augengrundes (B) entspricht die rechte Seite des Pupillarreflexes: $B'P''$.

Bewegt sich also das Beleuchtungsfeld im Augengrunde in der Richtung von A nach B, von rechts nach links, so wandert der beleuchtete Teil der Pupille von links nach rechts, von α nach β, von $P'A'$ nach $B'P''$.

Betrachten wir endlich den Fall, wo der Fernpunkt des untersuchten Auges gerade in der Pupille des Beobachters liegt. Wir haben denselben in Fig. 139 dargestellt.

Der von dem beleuchteten Punkte A des untersuchten Auges ausgehende Lichtkegel vereinigt sich in dem der Pupille des Beobachters 𝔅 angehörenden Punkte a. — Nun wissen wir, dass der Strahl $P'a$ in der Richtung gegen p', der Strahl $P''a$ gegen p'' weiter geht. Der Zerstreuungskreis des Punktes a deckt sich also, auf der Netzhaut des Beobachters, mit dem Bilde der untersuchten Pupille[2]).

Dasselbe findet aber auch statt für die Lichtpunkte B und C: Das Bild von B liegt in b. Von dort geht der Strahl $P'b$ weiter nach p', der Strahl $P''b$ nach p''. Das Zerstreuungsbild dieses Punktes B ist also auch gleich groß wie das scharfe Bild der Pupille. — Ebenso für C, dessen konjugierter Brennpunkt c ist, und von wo aus ein Lichtkegel gerade die Strecke $p'p''$ überstrahlt.

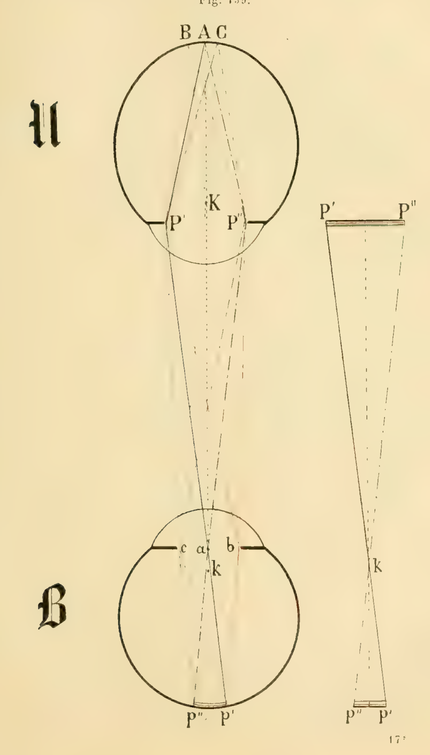
Wie wir sehen, sind aber B und C die äußersten Punkte, von denen

1) Die Konstruktion dieses Bildes ba geschieht, in eben angegebener Weise, mit Hilfe der Pupillen- und der durch k gehenden Richtungsstrahlen.

2) Dies ist offenbar der Fall, von dem Helmholtz spricht, wenn er (S. 207 der 2. Aufl. seiner physiologischen Optik) sagt: dass, wenn die (ganze) Pupille des untersuchten Auges leuchtend erscheinen soll, sich auf seiner Netzhaut das Bild der Lichtquelle ganz oder teilweise mit dem Bilde der Pupille des Beobachters decken muss. — In der That: Da, unserer Voraussetzung gemäß, das Auge 𝔘 auf die Pupille des Auges 𝔅 eingestellt ist, so ist BC das Bild der Pupille cb. Und, wie wir sehen, genügt es, dass ein einziger Punkt der von diesem Pupillenbilde eingenommenen Strecke des untersuchten Augengrundes beleuchtet sei, damit die ganze Pupille des untersuchten Auges leuchte.

aus noch Licht in das beobachtende Auge gelangen kann. Daraus geht hervor, dass, im Falle der Koincidenz des Fernpunktes, resp. der konjugierten Brennebene des untersuchten Auges, mit der Pupille des Beobachters, es genügt, dass der Reflex des Augenspiegels auch nur den

Fig. 139.



Saum der untersuchten Pupille, z. B. P'', überschreite, um dieselbe in ihrer Gesamtheit auf einmal zu erhellen. Und wenn, unter dem Einflusse der Drehung des Spiegels, das Licht bis an den gegenüberliegenden Pupillarrand P' gelangt ist, so wird die Pupille erst dann, dann aber plötzlich und in ihrer ganzen Ausdehnung, zu leuchten aufhören, sich auf einmal verdunkeln, wenn der letzte Lichtstrahl ihren Rand überschritten hat.

Da die Beleuchtung des Auges nicht mit einem einzigen Lichtpunkte, sondern mit einer Lichtfläche geschieht, so wird allerdings die Intensität des aus der Pupille zurückstrahlenden Lichtes nicht immer die gleiche sein. Sie ist um so größer, je mehr Zerstreuungskreise sich in $p''p'$ decken, d. h. von einer je größeren Zahl von Punkten Licht in des Beobachters Auge dringt. Aber sie ist doch auf der ganzen Ausdehnung der untersuchten Pupille die gleiche. Es ist also in diesem Falle auch unmöglich, die Bewegung des beleuchteten Feldes in Beziehung zu derjenigen des Spiegels wahrzunehmen. Von woher auch das Licht in die Pupille trete, in welcher Richtung es dieselbe durchschreite, wo es dieselbe verlasse, die Pupille ist immer ganz hell, oder ganz dunkel.

§ 69. Die Form resp. die Begrenzungslinie des Pupillarreflexes hängt von verschiedenen Momenten ab.

Je genauer das untersuchte Auge für die Lichtquelle eingestellt ist, desto näher kommt das Netzhautbild der Form derselben.

Je weniger genau dagegen der Untersuchte für die Lichtquelle eingestellt, und je weiter seine Pupille ist, desto mehr weicht die Form des Bildes derselben von derjenigen des Objektes ab, bis endlich das von ihr beleuchtete Feld die Form der Pupille annimmt, d. h. kreisförmig begrenzt erscheint, wenn die Pupille selbst kreisrund ist.

Ist dieselbe durch das obere Lid eines Segmentes beraubt, so erscheint auch das diffuse Bild nicht kreisrund, sondern an einer Stelle wie abgeschnitten.

Eine derartige Einschränkung des Beleuchtungsfeldes wird sich auf der Netzhaut immer auf der dem abblendenden Schirme entgegengesetzten Seite geltend machen, möge die Netzhaut vor oder hinter der zur Lichtquelle konjugierten Brennebene liegen. Man denke sich, in Fig. 131, z. B. das von oben, von A herkommende Strahlenbündel ausgeschlossen, so fällt, in der Ebene des scharfen Bildes $\beta\alpha$ sowohl, wie vor (HH), als hinter derselben (MM), der untere Teil des Lichtes weg.

Wie aber diese Änderung der Form des Beleuchtungsfeldes dem Beobachter erscheint, das hängt selbstverständlich wiederum davon ab, ob derselbe von dem Augenhintergrunde ein aufrechtes, oder ein umgekehrtes

Bild erhält. Im ersten Falle sieht er, wie in unserem Beispiele, den unteren, im letzteren den oberen Teil des Lichtes verschwinden[1].

Ein Blick auf obige schematische Figuren genügt, um einzusehen, dass nicht nur die Pupille des Untersuchten, sondern auch die des Beobachters einen Einfluss auf die Erscheinungen der Koroskopie haben muss.

Man braucht sich nur die beiden Punkte ($a'a''$, resp. $g'g''$, Fig. 135), welche die Enden des Pupillendurchmessers des Beobachters darstellen, einander genähert, oder voneinander entfernt zu denken. Dabei erhellt sofort, wieviel der beleuchtete Teil der untersuchten Pupille im ersten Falle ab-, im zweiten Falle zunehmen kann, aber auch dass, im ersten Falle, die Vorgänge im untersuchten Augengrunde, wegen der Verkleinerung der Zerstreuungskreise, schärfer erscheinen müssen, als im letzteren.

Außerdem geht aus den Figuren sowohl als aus der einfachen Überlegung hervor, dass die Untersuchung ein um so genaueres Resultat ergiebt, je enger die Pupille des Beobachters, resp. die Durchbohrung des Augenspiegels ist.

Roth (150) hat, in seinem Skiaskope, das runde Loch des Augenspiegels durch eine, zum Handgriffe rechtwinklige, stenopäische Spalte ersetzt.

Genaueres über den Einfluss der Pupille, und die optische Einstellung des Beobachters, findet der Leser in Monoyer's Arbeit (135), in einem Artikel von Ruppell (156), und in H. Wolff's Monographieen (221, 228).

Die scheinbare Geschwindigkeit der Bewegung des Beleuchtungsfeldes.

§ 70. Dreht man den Augenspiegel um einen gewissen Winkel, so verschiebt sich um gleichviele Grade auch das Flammenbild auf der Netzhaut des untersuchten Auges. Ist das letztere hypermetropisch, so scheinen die von seinem Grunde ausgehenden Strahlen aus der hinter ihm gelegenen Fernpunktsebene herzukommen. Der Beobachter sieht von den Objekten des Augengrundes ein aufrechtes, virtuelles Bild, das um so größer ist, je weiter entfernt vom Auge es liegt, d. h. je schwächer die Hypermetropie ist. Dementsprechend erscheinen auch die eine gewisse Strecke des Augengrundes durchlaufenden Exkursionen des Flammenbildes um so größer, je geringer, um so kleiner, je höher der Grad der Hypermetropie ist.

1) Um darzuthun, dass die Form des Schattens, besser die Begrenzung des beleuchteten Feldes, von der Form der Pupille des Untersuchten abhängt, hat Herr Guaita (190) bei Kaninchen dreieckige Pupillen geschnitten, und so bei der Skiaskopie dreieckige Figuren erhalten. — Prof. Schön benutzte zu diesem Versuche ein künstliches Auge, vor welches er ein Diaphragma mit viereckigem Ausschnitte setzte. — Noch einfacher ist es, den Untersuchten sein oberes Lid leicht über die Pupille senken zu lassen. Der dadurch hervorgerufene Schatten ersetzt dann den des Irisrandes.

Dasselbe ist auch bei Myopie der Fall, wenn der Beobachter weit genug von dem untersuchten Auge entfernt ist, um dessen umgekehrtes Bild vor sich zu sehen. Dies Bild kommt dem untersuchten Auge um so näher zu stande, je stärker dessen Myopie ist, d. h. je näher ihm sein Fernpunkt liegt. Die Entfernung desselben vom Auge ist aber maßgebend, sowohl für die Größe, als für die Exkursion des umgekehrten Bildes. Sie ist dem Grade der Myopie umgekehrt proportional: Je stärker die Myopie, desto kleiner das Bild, desto geringer die scheinbare Exkursion des auf dem Augengrunde sich bewegenden Flammenbildes, und umgekehrt.

Die Ausführung der Koroskopie oder Skiaskopie.

§ 71. Die Koroskopie soll in einem möglichst dunkeln Raume vorgenommen werden. In der That hat die Dunkelheit des Untersuchungsraumes bei dieser Art der ophthalmoskopischen Refraktionsbestimmung noch größere Bedeutung, als bei derjenigen im aufrechten Bilde.

Bei letzterer Methode steht der Kopf des Beobachters demjenigen des Untersuchten so nahe, dass er demselben gewöhnlich jedes Fixierobjekt verdeckt. Bei der Koroskopie dagegen, die auf größere Entfernung vorgenommen wird, kommt es nur zu leicht vor, dass die Aufmerksamkeit des Patienten durch ein naheliegendes Objekt gefesselt, und seine Akkommodation damit angeregt wird.

Schon aus diesem Grunde, sodann aber auch, weil diese Methode bei mittelweiter Pupille am besten gelingt, ist es geraten, dieselben womöglich unter leichter Homatropinwirkung vorzunehmen.

Als Lichtquelle kann im Grunde jede Flamme dienen. Es ist aber sehr vorteilhaft, derselben eine bestimmte Form zu geben. Wir bedienen uns dazu folgender einfacher Vorrichtung. Sie besteht im wesentlichen aus einem den Auerbrenner umhüllenden Kamin, der einen, mit mattem Glase bedeckten Ausschnitt trägt; darüber lassen sich Diaphragmen schieben, die je eine punktförmige, eine große kreisrunde, eine quadratische, und eine geradlinige Öffnung tragen. Auf diese Weise ist es leichter möglich, als mit einer einfachen Flamme, die Form des Pupillarreflexes mit derjenigen der Lichtquelle zu vergleichen.

Einen ähnlichen, jedoch vielseitigeren Apparat hat Thorington (200) angegeben. Die Beleuchtungsflamme wird von einem Asbestkamine umgeben. An demselben lassen sich zwei Scheiben drehen. Die untere enthält ein Porzellanglas von 30 mm Durchmesser und vier Öffnungen von 5, 10, 20 und 35 mm Durchmesser; die obere eine runde, von einem Kobaltglase bedeckte Öffnung von 35 mm Durchmesser, eine Siebplatte, einen senkrechten, und einen wagerechten Schlitz. Die weiteste Öffnung (35 mm Durchmesser) dient als Lichtquelle für die gewöhnliche Augenspiegeluntersuchung, die mit 5 mm

Durchmesser zur Skiaskopie mit dem Plan-, die mit 20 mm Durchmesser zur Skiaskopie mit dem Hohlspiegel.

H. Wolff (228) verwendet eine strichförmige Lichtquelle, nämlich den Glühfaden seines elektrischen Skiaskopes.

Zur Koroskopie kann sowohl der plane, wie der konkave Spiegel verwendet werden.

Bei dem Planspiegel, wird das von ihm gelieferte, virtuelle Bild der Flamme zur Beleuchtungsquelle. Dieselbe liegt also immer vor dem untersuchten Auge, und zwar doppelt so weit, als der Spiegel von der Flamme, resp. von dem Auge entfernt ist. Das untersuchte Auge erhält also von der Lichtquelle immer ein umgekehrtes Bild, dessen Bewegung derjenigen des Spiegels stets gleichgerichtet ist. Das Verhältnis der Bewegung des Pupillarreflexes zu derjenigen des Spiegels hängt dann also nur von der Lage des Einstellungspunktes des untersuchten Auges ab.

Beim Konkavspiegel gestalten sich die Verhältnisse, wie wir oben auseinandergesetzt haben, anders. Hier ist die Lichtquelle das durch den Spiegel entworfene reelle, umgekehrte Bild der Lampe. Dasselbe bewegt sich nicht nur in umgekehrtem Sinne wie der Spiegel, sondern die Entfernung, in welcher es entsteht sowohl, als seine Größe, ändern sich mit der Änderung der Entfernung des Spiegels von der Lampe, in viel bedeutenderer Weise, als dies bei dem Planspiegel der Fall ist.

Nehmen wir z. B. einen Spiegel von 5 Katoptrien, d. h. 20 cm Brennweite. Steht er um einen Meter von der Lampe entfernt, so entwirft er deren Bild in 25 cm, d. h. $100 - 25 = 75$ cm vor dem untersuchten Auge, wenn dasselbe mit der Lampe in gleicher Entfernung steht.

Nähern wir uns mit diesem Spiegel der Lampe auf 30 cm, so entsteht das Bild in 60 cm, d. h. nicht mehr vor dem untersuchten Auge, sondern in demselben. Die Bewegungen der beleuchteten Stelle des Augengrundes sind dann also nicht mehr denen des Konkavspiegels entgegengesetzt, sondern gleichnamig mit denselben, ähnlich wie beim Planspiegel.

Dies Beispiel genügt, um zu zeigen, welche Unannehmlichkeiten der Konkavspiegel mit sich bringen kann, wenn man sich seiner in verschiedenen Entfernungen zur Koroskopie bedient. Der Planspiegel ist deshalb, zu diesem Zwecke, dem konkaven wohl vorzuziehen.

Wie wir oben gesehen, kann die Refraktionsbestimmung mittelst der Koroskopie nach verschiedenen Prinzipien geschehen:

a) Durch Aufsuchen des »neutralen Punktes« (Zusammenfallen des Fernpunktes des untersuchten Auges mit der Pupille des Beobachters).

Dazu muss selbstverständlich das untersuchte Auge einen mindestens mittleren Grad von Myopie besitzen, oder durch Vorsetzen von Konvexlinsen myopisch gemacht werden.

Man geht dann so vor, dass man, das fragliche Auge aus einer Entfernung von ungefähr einem Meter mit dem Planspiegel beleuchtend, erst feststellt, in welcher Richtung der Pupillarreflex wandert. Geht er im umgekehrten Sinne wie der Spiegel, so hat man ein umgekehrtes Bild, mit anderen Worten, Myopie von mehr als 1 D. vor sich. Man nähert sich nun dem untersuchten Auge, unter steter leichter Spiegeldrehung, bis eine Bewegung des Lichtes nicht mehr wahrzunehmen ist, sondern die Pupille in ihrer Gesamtheit zu leuchten anfängt, und aufhört. Die Entfernung zwischen dem beobachtenden und dem untersuchten Auge, in dieser Stellung, entspricht dem Fernpunktsabstande des letzteren. Ist sie beispielsweise 66 cm, so ist die Myopie = 1,5 D. Selbstverständlich nimmt man die Messung mit einem, am Spiegel angebrachten, und zwischen demselben und dem untersuchten Auge auf- und abrollbaren, in Dioptrien eingeteilten Bande vor.

Findet man, dass, in 1 m Entfernung, Reflex und Spiegel sich im gleichen Sinne bewegen, so hat man es mit einem aufrechten Bilde, resp. mit einer Refraktion zu thun, die schwächer ist als Myopie 1. — Man setzt dann dem untersuchten Auge ein Konvexglas vor, welches ein umgekehrtes Bild von dessen Augengrund zu stande, resp. seinen Fernpunkt in kurze Entfernung bringt. Die oben genannten Merkmale: Begrenzung der beleuchteten Fläche, Geschwindigkeit ihrer Bewegung u. s. w., können dazu dienen, dem Beobachter sofort das jeweilen passende Glas anzugeben: z. B. + 3 für schwache Myopie, + 6 bis + 10 für starke Hypermetropie.

Dem Hilfsglase wird dann selbstverständlich so Rechnung getragen, dass es von der gefundenen Refraktion abgezogen wird. Fände man, mit Konvex 6, den neutralen Punkt wieder in 66 cm, so wäre das untersuchte Auge hypermetropisch von 6 — 1,5 = 4,5 D.

Es ist nun aber durchaus nicht leicht, den neutralen Punkt mit Genauigkeit zu bestimmen, und zwar schon deswegen nicht, weil kaum ein Auge so von optischen Fehlern frei ist, dass sich die von einem Punkte seiner Netzhaut kommenden Strahlen auch wieder in einem Punkte vereinigen. Dazu kommt, dass der Beobachter auch ohne dies nicht im stande ist, die Bewegung des Pupillarreflexes zu beurteilen, wenn sein Auge dem Fernpunkte des Untersuchten sehr nahe steht. Parent schätzt die Ausdehnung dieser Strecke ungenauer Beobachtung auf ungefähr 10 cm, 5 vor, 5 hinter dem Einstellungspunkte, wenn die Bestimmung in 1 m Entfernung vorgenommen wird, geringer für geringere Entfernung.

Nach H. Wolff dagegen, lässt sich die Refraktion dadurch bis auf $^1/_4$, ja $^1/_{10}$ Dioptrie genau bestimmen, dass man den Punkt feststellt, wo man, neben der dunklen Scheibe, welche dem Bilde des Spiegelloches auf dem untersuchten Augengrunde entspricht, einen deutlich gegenläufigen Schatten wahrnimmt.

b) Die Refraktionsbestimmung mit der sogenannten Schattenprobe kann andererseits in der Weise vorgenommen werden, dass man sich in einer konstanten Entfernung von ungefähr 120 cm vor dem Untersuchten aufstellt, und das Glas aufsucht, welches, an der gewöhnlichen Stelle der Brillengläser vor das untersuchte Auge gesetzt, die Bewegung des Pupillarreflexes aufhebt. Von dem gefundenen Glase ist selbstredend eine Dioptrie abzuziehen, falls es ein Konvexglas war, um die entsprechende Hypermetropie zu finden, während einem Konkavglase eine Dioptrie zuzuzählen ist, weil schon ohne Glas eine Myopie von 1 D. besteht, wenn, in der angegebenen Entfernung, die Bewegung des Pupillarreflexes nicht wahrnehmbar ist. Da das Wechseln der Gläser vor dem untersuchten Auge, in 1 m Entfernung, für die Hand des Beobachters sehr umständlich wäre, hat man dieselben, in ähnlicher Weise, wie wir dies schon bei der simultanen Bestimmung der Refraktion und der Sehschärfe gesehen, in gerade oder kreisförmige Rahmen gefasst. So lässt man sie einzeln, oder kombiniert vor dem untersuchten Auge durchpassieren. Meist wird die Haltung der Brillenleiter, resp. die Drehung der Gläserscheibe, dem Patienten selbst überlassen. Vorrichtungen, wie die bei Couper's Optometer beschriebene, gestatten dem Beobachter, die Scheibe, mittelst eines auf eine Kurbel wirkenden, langen Stabes, in Bewegung zu setzen (S. 202). Die Beschreibung, ja auch nur die Erwähnung der bisher angegebenen sogenannten Skiaskope, würde uns viel zu weit führen und hätte nur geringes Interesse. In der That fallen die hierzu verwendbaren Vorrichtungen und Gläserkombinationen, mit geringen Veränderungen zusammen, mit denjenigen, die wir bei der subjektiven Refraktionsbestimmung, und bei den Ophthalmoskopen schon angetroffen haben. Wir begnügen uns daher, diejenigen, welchen wir in der Litteratur begegnet sind, am Ende dieses Paragraphen anzugeben.

Eine kleine Modifikation der beiden erwähnten Methoden der Skiaskopie hat Schweigger (136) vorgeschlagen. Sie besteht darin, dass man sich dem untersuchten Auge erst langsam nähert, bis Pupillarreflex und Spiegel sich in gleichem Sinne bewegen, sodann von demselben entfernt, bis der erstere sich umgekehrt bewegt wie der letztere. Zwischen diesen beiden Stellen liegt der Einstellungspunkt des Untersuchten. Selbstverständlich muss auch hier der Fernpunkt des Untersuchten, durch Hilfsgläser, auf eine geeignete Entfernung (ungefähr 30 cm) gebracht werden.

H. Wolff hat sich in neuerer Zeit um die Skiaskopie, durch seine Beobachtungen, und die Konstruktion seines elektrischen Skiaskopes, besondere Verdienste erworben. Seine Erklärung dieser Untersuchungsmethode lässt sich nicht in Kürze wiedergeben. Wir verweisen deshalb den Leser auf Wolff's Monographie (228), die auch eine genaue Beschreibung und Gebrauchsanweisung seines Instrumentes enthält.

Der Leuchtapparat von Wolff's Skiaskop ist dem seines elektrischen Ophthalmoskopes ähnlich. — Als Lichtquelle dient der Glühfaden. Das Bild desselben wird durch einen Planspiegel in das untersuchte Auge reflektiert. Glühfaden wie Planspiegel lassen sich durch ein Zahnrad gleichzeitig verstellen, und zwar so, dass die Drehungsachsen des Spiegels und des Fadens einander stets parallel sind. Die Drehung des Spiegels wird durch leichten Druck auf einen Federapparat bewirkt, so dass derselbe, beim Nachlassen des Druckes, von selbst wieder in seine ursprüngliche Lage zurückspringt. Die Neigung der Spiegelachse lässt sich an einer horizontalen Einteilung ablesen.

Die in dem äußeren Mantel sich drehende Lichtröhre hat, den beiden Enden des Glühfadens entsprechend, je einen ungefähr 1 mm breiten, 5 mm hohen Schlitz. Die daraus strahlende Lichtlinie zeigt, bei Astigmatismus, auf der durch denselben allein beleuchteten Einteilung, die Achsenstellung des korrigierenden Cylinders an. Außerdem ist noch ein, zu dem weißen senkrechter, mit rotem Glase bedeckter Lichtschlitz vorhanden, so dass man, nach beendigter Refraktionsbestimmung im einen Meridiane, nur den letzteren Schlitz an die Stelle des ersteren zu drehen braucht, um die Bestimmung im anderen Meridiane vorzunehmen.

An dem Beleuchtungsapparat ist ein Messapparat befestigt. Derselbe besteht aus einem, an dem ersteren befestigten, in Vierteldioptrien geteilten Bande, welches sich in einer federnden Büchse auf- und abrollen, sowie im gewünschten Momente feststellen lässt. — Die Büchse ist mit einem Handgriffe verbunden, welcher zwei auswechselbare Gläserscheiben trägt. Die eine derselben enthält eine freie Öffnung, und die konvexen, wie die konkaven Gläser 4, 8 und 12 D., mit welchen sich, auf labile Distanz, alle Korrektionsgläser von 17,75 bis 40 D. bestimmen lassen. — Die andere Scheibe enthält + 16, + 20 und — 16 zur Bestimmung der Brillen bis + 18 und — 21,75 D.

An beiden Scheiben befindet sich außerdem noch je ein Täfelchen, welches die Zahlen des Bandmaßes für die jedem vorgesetzten Glase entsprechende Refraktion angiebt (169, 202, 226).

Historisches über die sogenannte Schattenprobe.

§ 72. Wenn auch schon Bowman (5b) sich des vom Ophthalmoskope aus gewisser Entfernung (65 cm) ins Auge geworfenen Lichtes bediente, um Keratoconus, unregelmäßigen wie regelmäßigen Astigmatismus, und die Meridiane des letzteren zu bestimmen, so wurde doch die als Skiaskopie (Schattenprobe) bekannte Methode von dem französischen Generalarzte Cuignet (59) in die Praxis eingeführt, und zwar unter dem Namen Keratoskopie. Der Autor hatte nämlich durchaus keine Idee darüber, um was

es sich bei seiner Methode der Refraktionsbestimmung handle, und schrieb die eben besprochenen Erscheinungen alle der Hornhaut zu.

Mitte der siebziger Jahre, wurde mir von meinen Schülern berichtet, Dr. Cuignet aus Lille habe eine Methode erfunden, mit welcher er, aus dem einfachen ophthalmoskopischen Anblicke der Hornhaut, die Refraktion eines Auges anzugeben wisse.

Auf meine Bemerkung, dass dies nicht möglich sei, weil die Hornhaut allein die Refraktion nicht bestimme, kamen Cuignet's Schüler, worunter namentlich ein Dr. Mengin, zu mir und erklärten, es handle sich nicht um die Cornea als solche, sondern um »den Schatten, den die Hornhaut auf die Pupille werfe«. — Cuignet's Veröffentlichungen, wo von »cornée aplatie des hypermétropes«, »cornée des myopes« die Rede ist, wo die Hornhaut mit einem Zuckerhute verglichen wird, der in der Sonne steht, und den Beleuchtung und Schatten, mit der Bewegung des Spiegels, umwandern u. s. w., waren nicht dazu angethan, seine Methode der Beachtung zu empfehlen. Als er aber selber kam, und mir dieselbe an einigen Patienten zeigte, wurde mir sofort klar, was die von ihm beschriebenen Erscheinungen zu bedeuten hatten. Ich suchte ihm zu erklären, dass, was er in die Hornhaut verlegte, im Augengrunde vorgehe, und setzte ihm die Verhältnisse der ophthalmoskopischen Beleuchtung bei den verschiedenen Refraktionszuständen des Auges auseinander. Er verstand aber nichts davon. Besser gelang dies Herrn Dr. Mengin, der meine Erklärung, die erste, welche von der Skiaskopie gegeben worden ist, mit Nennung meines Namens, wenn auch abgekürzt, veröffentlichte (82).

In eingehenderer Weise geschah dies später durch Dr. Parent (109). Cuignet aber blieb unbelehrt und unbekehrt. So schrieb er denn auch im Jahre 1880 (Rec. d'Ophth. S. 335) in einem offenen Briefe an Dr. Parent: »Je déclare encore que je ne suis pas satisfait des explications qui ont été données des phénomènes de la surface kératique. Plus heureux, ou plus audacieux M. M. Landolt et Mengin, vous-même après eux, vous en avez cherché et publié l'explication, ou la théorie, mais en la fondant sur une erreur que je considère comme capitale, c'est-à-dire sur la production des phénomènes par le fond de l'oeil.«

Leroy (114c), ein anderer Militärarzt, der über die Skiaskopie mehrere gelehrte Abhandlungen geschrieben hat, konstatiert, mit sichtlicher Genugthuung, dass seine Erklärung von derjenigen Cuignet's nur um wenige Millimeter differiere, da letzterer die Erscheinungen auf die Hornhaut, er in das Pupillargebiet verlege.

Wer sich mit dieser Methode objektiver Optometrie eingehender befassen will, den verweisen wir, in erster Linie, auf die Arbeit von Monoyer (135), worin derselbe die der Skotoskopie, wie er sie nennt, zu Grunde liegenden Erscheinungen, mathematisch gründlich zu erklären sucht.

Sodann hat A. E. Fick (147) darüber eine sehr hübsche Monographie veröffentlicht, die auch den praktischen Wert dieser Methode, an der Hand kritischer Beobachtungen, eingehend berücksichtigt, und der wir in unseren Auseinandersetzungen teilweise gefolgt sind.

Besonders eingehend hat sich in jüngster Zeit Hugo Wolff mit der Theorie und der Praxis der Skiaskopie abgegeben. Seine Arbeiten in diesem Gebiete haben wir schon mehrfach erwähnt (202, 221, 228).

G. Weiss, Professor der Physik an der medizinischen Fakultät von Paris, pflegt das Wesen der Skia-, oder Koroskopie, in sehr anschaulicher Weise, mit Hilfe des Experimentes zu demonstrieren, nach welchem Foucault die Brennweite von Konvexlinsen bestimmte.

Zum Selbststudium, sowie zur Demonstration der Methode, eignen sich sehr gut die Phantome und Wandtafeln von O. Neustätter (219 b), welchen der Autor einen erläuternden Grundriss beigegeben hat.

Weitere Veröffentlichungen über diesen Gegenstand findet der Leser in dem Litteraturverzeichnisse am Ende dieses Kapitels.

Was die Bezeichnung dieser Methode betrifft, so sind, seit man endlich des Ausdruckes »Keratoskopie« ledig geworden ist, eine Unzahl, mehr oder weniger glücklicher Namen, für dieselbe vorgeschlagen worden. »Skiaskopie«, »Schattenprobe« scheint ihr bleiben zu wollen. Ich möchte dies heute noch wie vor 17 Jahren (128) bedauern. Damals schon sagte ich, dass es dem Verständnisse der Methode schade, das Augenmerk auf den Schatten, auf den unbeleuchteten, statt auf den beleuchteten Teil des Augengrundes zu richten. In der That hat die Erklärung des »Schattens« die abstrusesten Hypothesen hervorgerufen: Er sei das Bild der schwarzen Pupille des Beobachters, oder des Loches des Augenspiegels im Augengrunde des Untersuchten; er sei eine Interferenzerscheinung (218) zwischen dem ein- und dem ausfallenden Lichte, die sich untereinander auslöschen u. s. w. »Wir haben in der Ophthalmologie noch genug dunkle Stellen, um nicht unnötigerweise dem Schatten, statt dem Lichte nachzugehen«, sagte ich seiner Zeit, und schlug für die Methode den unverfänglichen Namen »Koroskopie« (κορη = Pupille) vor.

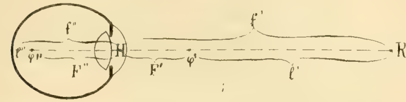
Schätzung des Einflusses der Linse auf die Refraktion des Auges.

§ 73. Es kommt vor, dass man nicht die gegenwärtige Refraktion eines Auges, sondern seine zukünftige, d. h. diejenige, die es nach Verlust seiner Linse haben wird, oder seine vergangene, d. h. diejenige, die ein aphakisches Auge vor dem Verluste seiner Linse gehabt hat, zu kennen wünscht. Dazu muss man die Refraktion des linsenlosen Auges aus der des Vollauges, und die des Vollauges aus der des linsenlosen, zu berechnen wissen.

Diese Berechnung kann in verschiedener Art vorgenommen werden. Nach meiner Ansicht geht man dabei am einfachsten in folgender Weise vor:

A. Berechnung der Refraktion des Auges nach Linsenverlust (Fig. 140).

Fig. 140.



Man berechnet erst die Länge des Auges aus der Formel

$$l'' = \frac{F' \cdot F''}{l'},$$

worin l'' = Unterschied der Länge des ametropischen und des emmetropischen Vollauges[1]).

F' = erste oder vordere,

F'' = zweite oder hintere Hauptbrennweite des Vollauges,

$l' = f' - F'$ = Unterschied zwischen der ersten konjugierten und der ersten Hauptbrennweite des Vollauges.

f' = Entfernung des Fernpunktes R vom ersten Hauptpunkte H' des Auges. (Positiv bei Myopie, negativ bei Hypermetropie, unendlich bei Emmetropie.)

Zu bemerken ist außerdem, dass, wenn, wie gewöhnlich, das Korrektionsglas der Ametropie 13 mm vor der Hornhaut (15 mm vor dem ersten Hauptpunkt) steht, es gerade in den vorderen Brennpunkt des Vollauges (φ') zu liegen kommt. Da aber sein Brennpunkt mit dem ersten konjugierten Brennpunkte R des Auges zusammenfällt, so ist der Ausdruck $f' - F'$ identisch mit der Brennweite dieses Korrektionsglases.

Die erste Hauptbrennweite des Vollauges ist, nach Helmholtz, $F' = 15{,}5$ mm, die zweite Hauptbrennweite des Vollauges $F'' = 20{,}7$ mm, also

$$F' \cdot F'' = 321 \text{ mm}.$$

Ist das in φ' stehende Korrektionsglas = 1 D., so ist

$$l' = 1000 \text{ mm},$$

$$l'' = \frac{321}{1000} = 0{,}321 \text{ mm}.$$

Das heißt: je eine Dioptrie des im vorderen Brennpunkte stehenden Korrektionsglases entspricht einem Längenunterschiede des Auges von

1) Wir setzen voraus, dass, wie gewöhnlich, die Ametropie durch Verlängerung oder Verkürzung des Auges bedingt sei.

0,321 mm, einer Verlängerung, wenn das Glas konkav ist (Myopie), einer Verkürzung, wenn es konvex ist (Hypermetropie).

Ein mit Konkav 10 D. in φ' korrigiertes, myopisches Auge ist um 3,21 mm länger; ein mit Konvex 10 in φ' korrigiertes hypermetropisches Auge um 3,21 mm kürzer, als das emmetropische Auge.

Umgekehrt: Setzen wir $l'' = 1$ mm, so wird $l' = 321$ mm, d. h. eine Veränderung der Achsenlänge um 1 mm, erfordert ein Korrektionsglas von 321 mm Brennweite, oder $\frac{1000}{321} = 3,1$ D., wenn dasselbe im vorderen Brennpunkte des Vollauges aufgestellt wird.

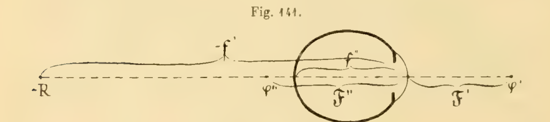
Einem l'' von 5 mm würden beispielsweise 15,5 D. entsprechen, und zwar negative (Konkavglas), wenn das Auge um 5 mm verlängert (M), positive (Konvexglas), wenn das Auge um 5 mm verkürzt (H) ist.

Die Länge des ametropischen Auges ist gleich der Länge (L) des Normalauges $\pm l''$. — Wir können L mit Helmholtz = 23,8 mm setzen.

Nun ist aber die Länge des Auges identisch mit dessen hinterer konjugierten Brennweite $\mathfrak{f}''$ im Zustande der Aphakie, wo die Hornhaut die einzige brechende Fläche darstellt. Wir setzen also

$$\mathfrak{f}'' = L \pm l''.$$

Fig. 141.



Zu diesem $\mathfrak{f}''$ berechnet man die vordere konjugierte Brennweite $\mathfrak{f}'$, nach der Formel

$$\mathfrak{f}' = \frac{\mathfrak{f}'' \cdot \mathfrak{F}'}{\mathfrak{f}'' - \mathfrak{F}''},$$

worin $\mathfrak{F}'$ = vordere Hauptbrennweite des aphakischen Auges = 23,26 mm, $\mathfrak{F}''$ = hintere Hauptbrennweite des aphakischen Auges = 31 mm nach Helmholtz).

Steht das Korrektionsglas des aphakischen Auges 13 mm vor der Hornhaut, so ist seine Brennweite $= \mathfrak{f}' \pm 13$ mm[1]).

1. Beispiel: Welches wird der Brechzustand eines emmetropischen Auges von 23,8 mm Länge nach Verlust der Linse?

1) Dieser Punkt hat nun selbstverständlich keine besondere Bedeutung mehr, wie beim Vollauge, dessen vorderem Brennpunkte er entsprach. Das φ' des aphakischen Auges liegt, wie gesagt, 23,26 mm vor demselben.

Wir setzen die entsprechenden Werte in obige Formel, und erhalten:

$$\mathfrak{f}' = \frac{23{,}8 \cdot 23{,}26}{23{,}8 - 31} = \frac{554}{-7{,}2} = -77 \text{ mm.}$$

$\mathfrak{f}'$ ist also eine negative Größe, d. h. der erste konjugierte Brennpunkt des Auges, resp. dessen Fernpunkt $-R$, ist auf derselben Seite gelegen wie der zweite (Netzhaut); das Auge ist hypermetropisch.

Um in die Ferne zu sehen, bedarf es eines Konvexglases. Im Kontakt mit der Hornhaut, müsste dasselbe eine Brennweite von 77 mm, also 12,98 D. Brechkraft haben. 13 mm vor der Hornhaut, also weiter von $-R$ entfernt, wird seine Brennweite 77 + 13 = 90 mm, also seine Brechkraft 11,1 D.

Das stimmt auch ganz gut mit der Erfahrung, nach welcher ein an Star operierter Emmetrope Konvex 11 D. zum Sehen in die Ferne braucht.

2. Beispiel: Ein myopisches Vollauge bedürfe zu seiner Korrektion —20 D., im vorderen Brennpunkte aufgestellt. Wir setzen:

$$l' = 50 \text{ mm.}$$
$$f' = 50 + 15 = 65 \text{ mm,}$$

also, wenn wir die Entfernung des Punctum remotum R vom Hauptpunkte aus rechnen, eine Myopie von 15 D.

Welches wird die Refraktion dieses Auges nach Linsenverlust sein?

Da

$$l' = 50 \text{ mm,}$$

ist

$$l'' = \frac{321}{50} = 6{,}4 \text{ mm,}$$

also die Länge dieses Auges

$$\mathfrak{f}'' = 23{,}8 + 6{,}4 = 30{,}2 \text{ mm.}$$

Diesem $\mathfrak{f}''$ entspricht ein $\mathfrak{f}'$ von

$$\mathfrak{f}' = \frac{30{,}2 \cdot 23{,}26}{30{,}2 - 31} = \frac{702{,}652}{-0{,}8} = -878{,}31 \text{ mm.}$$

Das heißt: der zweite konjugierte Brennpunkt dieses Auges ist negativ, das Auge ist hypermetropisch, und zwar bedarf es, wenn das Korrektionsglas 13 mm vor seiner Hornhaut aufgestellt wird, eines solchen von 878 + 13 = 891 mm Brennweite, oder 1,1 D. Brechkraft.

Dies ist, nebenbei gesagt, ein praktisch wichtiges Ergebnis. Es zeigt, dass, wenn wir verlockt sein sollten, einem Myopen den Genuss des Sehens in die Ferne ohne Gläser zu verschaffen, wir dies Geschenk jedenfalls nur Myopen von mehr als 20 Dioptrien anbieten dürfen, sonst sehen sie ohne Gläser weder in die Nähe noch in die Ferne — wenn ihnen das Sehen dabei nicht ganz vergeht.

3. Beispiel: Wir können überhaupt fragen: Wie stark muss eine Myopie sein, damit man, nach Entfernung der Linse, Emmetropie erwarten darf?

Die Länge eines solchen Auges muss offenbar der zweiten Hauptbrennweite des aphakischen Auges $\mathfrak{F}''$ gleich sein, also 31 mm messen. — Wie stark die Myopie eines solchen Auges, im linsenhaltigen Zustande?

Wir haben oben gesehen, dass jedem Millimeter Längenunterschied (l'') zwischen einem linsenhaltigen emmetropischen, und einem linsenhaltigen ametropischen Auge, ein im vorderen Brennpunkte stehendes Korrektionsglas von 3,1 D. entspricht. In unserem Beispiele wird

$$l'' = 31 - 23{,}8 = 7{,}2 \text{ mm};$$

also muss das Korrektionsglas, in φ', eine Brennweite von 7,311 mm, oder eine Brechkraft von 21,7 D., d. h. beinahe 22 D. haben.

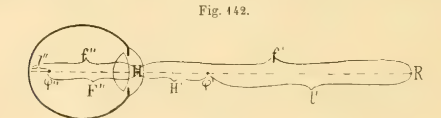
Beziehen wir die Ametropie auf den Hauptpunkt, d. h. rechnen wir die Entfernung von R vom Hauptpunkte ab, so wird diese Myopie $= \frac{1}{f} = 16{,}4$ D.

B. Berechnung der mutmaßlichen Refraktion des Vollauges aus der bekannten Refraktion des aphakischen Auges.

Dazu dienen selbstverständlich die oben benutzten Formeln, nur ist darin $\mathfrak{f}'$, $\mathfrak{F}'$ und $\mathfrak{F}''$ bekannt, $\mathfrak{f}''$ gesucht.

4. Beispiel: Das 13 mm vor der Hornhaut eines aphakischen Auges stehende Konvexglas sei z. B. = 8 D. Seine Brennweite ist also = 125 mm

Fig. 142.



Welches war der Refraktionszustand dieses Auges vor dem Verluste seiner Linse?

Sein erster konjugierter Brennpunkt liegt offenbar hinter dem Auge, seine erste konjugierte Brennweite $\mathfrak{f}'$ ist negativ, und zwar $= 125 - 13 = 112$ mm. Daraus berechnen wir $\mathfrak{f}''$, d. h. die Länge dieses Auges, und zwar mit Hilfe der Formel

$$\mathfrak{f}'' = \frac{\mathfrak{f}' \cdot \mathfrak{F}''}{\mathfrak{f}' - \mathfrak{F}'}.$$

Da $\mathfrak{f}'$ negativ ist, nimmt dieselbe folgende Form an:

$$\mathfrak{f}'' = \frac{\mathfrak{f}' \cdot \mathfrak{F}''}{\mathfrak{f}' + \mathfrak{F}'}.$$

Ersetzen wir darin die Buchstaben durch ihre entsprechenden Werte in Millimetern, so erhalten wir

$$\mathfrak{l}'' = \frac{112 \cdot 31}{112 + 23{,}26} = 25{,}5 \text{ mm}.$$

Dies Auge übertrifft also die Länge des Normalauges (23,8 mm) um 1,7 mm (l''), und, da jedem Millimeter 3,1 D. des im vorderen Brennpunkte stehenden Korrektionsglases entsprechen, so hätte dies Auge, im linsenhaltigen Zustande, eines solchen von 5,3 D. bedurft, und zwar eines Konkavglases, da es länger ist als ein Normalauge, mit anderen Worten, myopisch war.

Um die Rechnung für den praktischen Gebrauch zu vereinfachen, betrachten wir die Formel

$$l'' = \frac{F' \cdot F''}{l'},$$

worin l'' wieder den Unterschied der Länge des ametropischen und des emmetropischen Auges; l' die Brennweite des im vorderen Brennpunkte stehenden Korrektionsglases, also $\frac{1 \text{ m}}{l'}$ dessen Wert in Dioptrien; F' und F'' die Hauptbrennweiten des Auges bedeuten.

Setzen wir $l'' = 1$ mm, so wird $l' = F' \cdot F''$.

Im Vollauge ist $F' \cdot F'' = 321$ mm, also $\frac{1}{l'} = \frac{1000}{321} =$ rund 3 D.

Im linsenlosen Auge ist $\mathfrak{F}' \cdot \mathfrak{F}'' = 721$ mm, also $\frac{1}{\mathfrak{l}'} = \frac{1000}{721} =$ rund 1,4 D.

Mit anderen Worten: Der Unterschied der Achsenlänge hat im linsenhaltigen Auge ungefähr den doppelten Einfluss auf das im vorderen Brennpunkte stehende Korrektionsglas, als im linsenlosen. Einem Millimeter Unterschiede entsprechen im ersteren 3, im letzteren kaum $1\frac{1}{2}$ D. (209).

Umgekehrt, lässt ein Unterschied von 1 D. des Korrektionsglases im linsenlosen Auge, auf einen doppelt so großen Unterschied der Achsenlänge schließen, wie im linsenhaltigen.

Wir haben nun gesehen, dass ein emmetropisches Auge, nach Linsenverlust, ein 13 mm vor seiner Hornhaut stehendes Konvexglas von 11 D. verlangt.

Ein 2 mm längeres Auge benötigt, im linsenhaltigen Zustande, ein Konkavglas von $3 \cdot 2 = 6$ D., im linsenlosen aber nicht etwa eines von $11 - 6 = 5$ D. sondern von $11 - 3 = 8$ D., eben weil die 2 mm nur mehr den halben Einfluss ($1{,}5 \cdot 2 = 3$) auf das erforderliche Korrektionsglas ausüben[1].

[1] Genau genommen müsste das so berechnete Korrektionsglas der Aphakie im vorderen Brennpunkte dieses Auges, also 23 mm vor der Hornhaut stehen. Steht es am selben Orte wie das des Vollauges, d. h. 13 mm vor demselben, so muss es, wenn konkav, schwächer, wenn konvex, stärker sein.

So ist es denn auch nicht, wie man früher annahm, eine auf φ' bezogene Myopie von 11 D., sondern eine solche von 22 D., welche nach Linsenverlust zur Emmetropie wird.

M. 26 wird nicht zu M. 26 — 11 = 15, sondern zu 13 — 11 = 2 D.

Dasselbe gilt für Hypermetropie.

Eine durch Konvex 6 in φ' korrigierte Hypermetropie bedarf, nach Entfernung der Linse, nicht Konvex 11 + 6 = 17, sondern Konvex 11 + 3 = 14 D.

Überhaupt, um sich über das mutmaßliche Korrektionsglas nach Linsenverlust Rechenschaft zu geben, muss man die Dioptrienzahl des Korrektionsglases des Vollauges halbieren, und, wenn es konkav ist, von 11 D. abziehen, wenn es konvex ist, dazu zählen.

Bezeichnen wir ersteres mit M, letzteres mit H, so würde also das Korrektionsglas der Aphakie im ersten Falle werden

$$a' = 11 - \frac{M}{2},$$

im zweiten Falle

$$a'' = 11 + \frac{H}{2}.$$

Umgekehrt: Weist ein Korrektionsglas der Aphakie von + 11 auf frühere Emmetropie, so dürfen wir aus Konvex 14 durchaus nicht auf vorhergehende Hypermetropie von 14 — 11 = 3 D. schließen, sondern auf eine solche von 2 × 3 = 6 D.: eben weil die Achsenverkürzung, welche im aphakischen Auge nur einen Einfluss von 3 D. auf das Korrektionsglas hat, im Vollauge einen doppelt so großen Einfluss auf dasselbe ausübt.

Wir wissen andererseits, dass ein Auge, welches nach Linsenverlust emmetropisch geworden ist, vorher — 22 zur Korrektion bedurfte. Ein solches, das z. B. nach der Extraktion — 1 braucht, hatte aber früher nicht 22 + 1 = 23 D., sondern 22 + 2 = 24 D. zum Sehen in die Ferne nötig.

Bezeichnen wir mit c das Korrektionsglas des Vollauges, mit a das Korrektionsglas des aphakischen Auges, so können wir setzen:

$$c = 2\,(a - 11), \text{ oder } c = 2a - 22,$$

$$a = \frac{22 + c}{2}, \quad \text{oder } a = 11 + \frac{c}{2},$$

worin ein Konvexglas das +, ein Konkavglas das —zeichen trägt.

Diese vereinfachte Berechnung ist aber, wohlverstanden, nur so lange zulässig, als der Unterschied der Entfernung des vorderen Brennpunktes, resp. des Verhältnisses der Stellung des Korrektionsglases zu demselben, im aphakischen und im Vollauge vernachlässigt werden darf.

In ganz analoger Weise hat Hirschberg (209) die Berechnung des mutmaßlichen Korrektionsglases der Aphakie vereinfacht. Man vergleiche außerdem die diese Frage betreffenden Arbeiten von Schön (115 und 211), Ostwalt (151 und 210), Stadfeldt (201), Eperon (203), und E. Landolt (223).

Die Bestimmung des Astigmatismus.

§ 73. Zum leichteren Verständnisse der Untersuchungsmethoden des Astigmatismus, möchten wir einige einfache Experimente empfehlen. Sie geben, besser als theoretische Erörterungen, Aufschluss über die Wirkung eines astigmatischen Systems und das Sehen des Astigmatikers.

Man schaffe sich ein astigmatisches System durch die Kombination einer sphärischen Konvexlinse von 10 D. und eines konvexen Cylinders von 3 D., dessen Achse wir horizontal stellen wollen. So ist also der vertikale Hauptmeridian der stärker-, der horizontale der schwächer brechende. Die Linsen, von zwei dicht aneinanderliegenden Fassungen gehalten, stehen auf einem Fuße auf dem Tische. Als Objekt wählen wir einen entfernten leuchtenden Punkt mit mattem Glase bedeckte, von hinten beleuchtete Öffnung in einem großen undurchsichtigen Schirme).

Das Bild, welches dies astigmatische System von dem Lichtpunkte entwirft, fangen wir auf einem ebenfalls von einem Fuße getragenen Schirme von mattem Glase auf.

Bringen wir den Schirm in die Brennebene des vertikalen (stärker brechenden) Meridianes, so erscheint der Punkt als scharfe horizontale Linie. Entfernen wir den Schirm langsam von dem Systeme, so wird die Linie kürzer, breiter, verschwommener, eine Ellipse mit horizontaler Achse, sodann ein Kreis, darauf eine vertikale Ellipse, endlich eine scharfe vertikale Linie, wenn der Schirm in der Brennebene des horizontalen (schwächer brechenden) Meridianes angelangt ist.

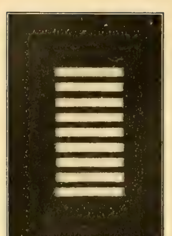
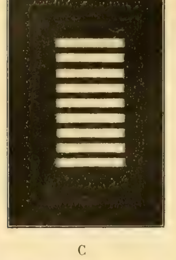
Entfernen wir den Schirm über die Brennebene des schwächer brechenden Meridianes hinaus, so wird die zu diesem Meridiane senkrecht stehende Zerstreuungsellipse immer größer und verschwommener. Also: dem Astigmatiker erscheint ein Punkt nie als Punkt, sondern als eine, den beiden zu einander senkrechten Hauptmeridianen parallele, scharfe Linie, als dem einen oder anderen derselben gleichgerichtete, undeutliche Ellipse, oder als kreisrunder, verwaschener Fleck.

Nehmen wir nun als Objekt eine Serie von, in einer geraden Linie aneinander gereihten, leuchtenden Punkten (Löcher in dem dunklen Schirme), so geht eben mit jedem derselben das gleiche vor, wie mit dem eben betrachteten einzelnen Punkte: Steht die Lichtlinie z. B. dem vertikalen Hauptmeridiane parallel, und ist derselbe auf die Linie eingestellt, so wird in der Brennebene dieses vertikalen Meridianes, jeder Punkt, aus dem die Linie besteht, ein horizontales Zerstreuungsbild liefern, die Linie also nicht scharf, sondern verbreitert erscheinen (Fig. 143 A [1]). In der Brennebene

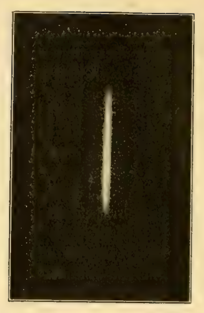
[1] Die photographische Abbildung der vorliegenden, sowie vieler anderer einschlägiger Versuche, verdanke ich der Freundlichkeit des Herrn Dr. P. Theophil Gautier. Ich spreche ihm dafür meine aufrichtige Anerkennung aus. E. L.

Fig. 143.

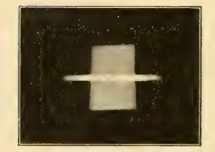
A

B



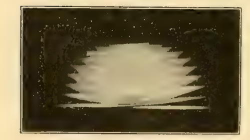
C



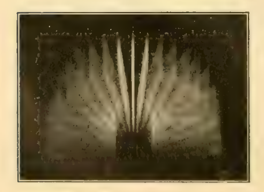
D



E



F



G



des zu ihr senkrechten horizontalen Meridianes dagegen, wo jeder Punkt ein vertikales Zerstreuungsbild liefert, erscheint die vertikale Linie scharf, weil sich diese linienförmigen Zerstreuungsbilder decken, und sie keine Verbreiterung in der Horizontalen erfährt (Fig. 143 B).

Ein Kreuz, dessen beide, gleichlange Arme den beiden Hauptmeridianen eines regelmäßigen astigmatischen Systems parallel sind, erscheint, wenn der vertikale Meridian auf dasselbe eingestellt ist, wie Fig. 143 C, wenn der horizontale eingestellt ist, wie Fig. 143 D.

Zwischen den beiden Stellungen des Schirmes, sowie jenseits der Brennebenen der beiden Hauptmeridiane, entsteht von der Linie nirgends ein scharfes Bild.

Dem regelmäßigen Astigmatiker erscheint also eine gerade Linie nur dann vollkommen scharf, wenn sie senkrecht steht zu dem **auf sie eingestellten Hauptmeridiane.**

Richten wir z. B. die Lichtlinie unseres Experimentes schief zu dem auf sie eingestellten Hauptmeridiane unseres astigmatischen Systems, so wird dieselbe nie deutlich erscheinen, wo wir auch den Schirm hinbringen mögen.

Oder, nehmen wir als Objekt eine aus verschieden gerichteten Radien bestehende Strahlenfigur: Bei keiner Stellung des Schirmes wird ein anderer, als der dem stärker, oder der dem schwächer brechenden Meridian parallele Radius deutlich sein.

So stellt Fig. 143 E den Fall dar, wo der vertikale, Fig. F denjenigen, wo der horizontale Meridian auf die Strahlenfigur eingestellt ist, während bei Fig. G, der Schirm sich zwischen dem Brennpunkte des ersteren und des letzteren Meridianes befindet.

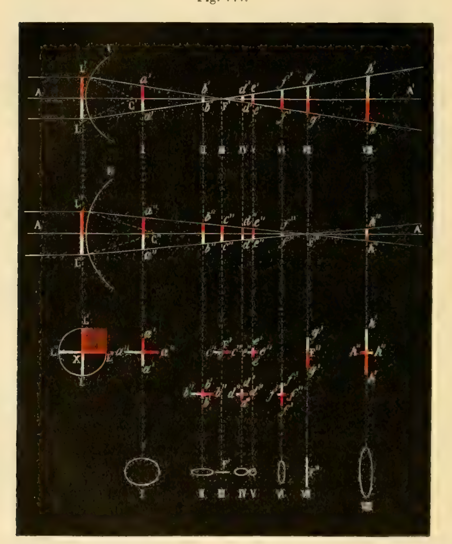
Daraus geht also deutlich hervor, dass die intermediären Meridiane eines astigmatischen Systems keine deutlichen Bilder entwerfen. Diese Thatsache ist zum Verständnisse der subjektiven Untersuchungsmethoden des Astigmatismus äußerst wichtig. Sie beweist, dass es dem Astigmatiker nicht frei steht, sein Auge auf irgend einen Radius der Strahlenfigur einzustellen, eine beliebig gerichtete Linie deutlich zu sehen, sondern dass er an die seinen Hauptmeridianen parallele gebunden ist, wenn er irgendwie scharf sehen will.

Die Erklärung dieser Thatsache geht aus folgenden Experimenten hervor:

Man isoliere nacheinander verschiedene Meridiane des astigmatischen Systems dadurch, dass man dasselbe durch ein Diaphragma bedeckt, aus welchem eine geradlinige Spalte ausgeschnitten ist. Benutzt man wieder als Objekt den leuchtenden Punkt, so giebt derselbe nur dann ein scharfes, punktförmiges Bild, wenn die Spalte dem einen oder dem anderen Hauptmeridiane gleichgerichtet ist, und sich der Schirm in der denselben entsprechenden Brennebene befindet. Bei den intermediären Stellungen der

Spalte dagegen, wo dieselbe intermediäre Meridiane isoliert, entsteht von dem Punkte nie ein scharfes Bild, sondern höchstens eine, mit der Entfernung des Schirmes ihre Richtung und Form ändernde Zerstreuungslinie, höchstens ein Zerstreuungskreis. In der That, die zwischen den Hauptmeridianen liegenden Meridiane eines astigmatischen Systems ergeben gar keinen Brennpunkt.

Fig. 144.



Die optische Wirkung eines astigmatischen Systems, lässt sich auch in folgender Weise sehr hübsch demonstrieren (128b):

Man bringe dicht vor unsere Linsenkombination sph. + 10 und cyl. + 3 mit horizontaler Achse) ein Diaphragma mit einem vertikalen und einem horizontalen Ausschnitte. Den oberen und den rechten Arm des so entstandenen Kreuzes bedecken wir mit einem roten Glase (Fig. 144, dritte Reihe, erste Figur links). Wir richten das System nach einer kleinen,

aber intensen, mit mattem Glase bedeckten Lichtquelle, und fangen deren gleichzeitig von den beiden Hauptmeridianen erzeugtes Bild auf einem beweglichen, halbdurchsichtigen, weißen Schirme auf.

In Fig. 144 stellt V den Durchschnitt des stärker gekrümmten, vertikalen Meridianes, mit seinem Krümmungscentrum in C', seinem Brennpunkte in F' dar. — $L'L'$ bezeichnet die vertikale Spalte des Diaphragmas, deren obere Hälfte rot gefärbt ist.

H entspricht dem schwächer gekrümmten, horizontalen Meridiane, dessen Centrum in C'', dessen Brennpunkt in F'' liegt. $L''L''$ bedeutet die horizontale Spalte, mit gefärbter rechter Hälfte.

Steht nun der Schirm in der Ebene I, so bilden die durch den vertikalen sowohl, als die durch den horizontalen Meridian gegangenen Strahlen eine diffuse Lichtlinie, die erstere ($a'a'$) kürzer, die letztere ($a''a''$) länger, beide zusammen ein, in der dritten Reihe angegebenes Kreuz $a''a'a''a'$, dessen Arme so gefärbt sind, wie die des Diaphragmaausschnittes.

In II, hat das Kreuz an Größe abgenommen, doch wesentlich stärker im vertikalen, als im horizontalen Sinne. Die Färbung ist aber immer noch der des Diaphragmakreuzes gleichnamig, $b''b'b''b'$ (vierte Reihe der Figur).

Bei der Stellung III, befindet sich der Schirm im Brennpunkte F' des vertikalen Meridianes. Die durch denselben gegangenen Strahlen vereinigen sich in einem Punkte, während die, dem horizontalen Meridiane entsprechenden, noch eine horizontale Zerstreuungslinie $c''c''$ bilden.

Jenseits des Brennpunktes F', tritt die vertikale Diffusionslinie wieder auf: $d'd'$. Jetzt sind darin aber Rot und Weiß vertauscht. Der rote Teil ist unten, der weiße oben, weil sich die Strahlen des Lichtbündels im Brennpunkte F' dieses Meridianes gekreuzt haben. — Die den horizontalen Meridian passierenden Strahlen dagegen, haben ihren Brennpunkt, bei der Stellung IV des Schirmes, noch nicht erreicht. Das horizontale Zerstreuungsbild $d''d''$ ist der horizontalen Spalte des Diaphragmas noch gleichnamig gefärbt. So erhalten wir also das Kreuz $d''d'd''d'$ der vierten Reihe.

Da das vertikale Bild stetig zu-, das horizontale stetig abnimmt, so kommen wir zu einer Stellung des Schirmes (V), wo beide gleichlang sind, und das Kreuz $e''e'e''e'$ bilden. — Von da an ist das vertikale Bild stetsfort das längere; das horizontale schrumpft immer weiter zusammen, bis es, wenn der Schirm im Brennpunkte F'' des horizontalen Meridianes steht, zu einem Punkte geworden ist. In diesem Falle sehen wir also nur die durch den vertikalen Meridian gebildete Diffusionslinie $g'g'$.

Führen wir den Schirm noch weiter von dem Systeme ab, so tritt auch die horizontale Zerstreuungslinie wieder in wachsender Länge auf. Nun sind aber auch ihre Farben denen der Diaphragmaspalte entgegengesetzt. Das Rot steht links, das Weiß rechts, so dass, z. B. bei der Stellung VIII des

Schirmes, das Diffusionskreuz $h''h'h''h'$ dem des Diaphragmas $L''L'L''L'$ sowohl, als den vor dem Brennpunkte des stärker brechenden Meridianes entstehenden Diffusionskreuzen, gerade umgekehrt gefärbt ist.

Umschreiben wir die Diffusionskreuze, wie dies in der fünften Reihe der Fig. 144 (I bis VIII) geschehen ist, so erhalten wir die Zerstreuungsbilder, welche der Lichtpunkt an den verschiedenen Stellen, ohne Dazwischenkunft des Diaphragmas, geliefert hätte.

Gebraucht man eine Spalte, und stellt sie schief zu den Hauptmeridianen des astigmatischen Systems, d. h., isoliert man einen intermediären Meridian, so erhält man nirgends einen scharfen Brennpunkt, bei zwei Spalten also nirgends eine scharfe Brennlinie, wie in III und VII der Fig. 144. Die von den isolierten, intermediären Meridianen gelieferten, längeren oder kürzeren, immer sehr diffusen Zerstreuungsbilder drehen sich, bei Annähern und Entfernen des Schirmes, sozusagen spiralartig um die Achse des Systems, ohne irgendwo eine scharfe Form anzunehmen.

Die Bestimmung des regelmäßigen Astigmatismus.

§ 74. Geht die Brechung des Lichtes im Auge nur in zwei aufeinander senkrechten Meridianen normal, und in diesen beiden untereinander noch verschieden, in allen den dazwischenliegenden Meridianen aber so unregelmäßig vor sich, dass die Lichtstrahlen nicht zu einem Brennpunkte vereinigt werden, so müssen sowohl die von den ins Auge dringenden, als die von den aus dem Auge kommenden Strahlen entworfenen Bilder so charakteristische Merkmale zeigen, dass es uns an Mitteln und Wegen zur Erkennung dieser Refraktionsanomalie nicht fehlen kann.

Es giebt denn auch eine ganze Reihe subjektiver, wie objektiver Methoden zur Bestimmung des Astigmatismus.

Um mit denselben möglichst sicher zum Ziele zu gelangen, ist es gut, in folgender Weise vorzugehen:

1. Man stellt fest, ob Astigmatismus vorhanden, und ob derselbe regelmäßig oder unregelmäßig ist.
2. Man bestimmt die Richtung der Hauptmeridiane des regelmäßigen Astigmatismus, und
3. Die Refraktion der beiden Hauptmeridiane. Die Differenz zwischen beiden ergiebt
4. Den Grad des Astigmatismus.

A. Subjektive Methoden zur Bestimmung des Astigmatismus.

§ 75. Das Vorhandensein von Astigmatismus lässt sich häufig schon aus gewissen äußeren Erscheinungen der davon Betroffenen vermuten. Dieselben haben nämlich meistens die Gewohnheit, wenn es sich um

scharfes Sehen handelt, die Augenlider bis auf einen gewissen Grad zuzukneifen, wohl auch den Kopf zu neigen, an ihren Augen zu drücken, ihre Brillengläser schief zu stellen. — Das alles kann nun auch bei Leuten vorkommen, die nicht astigmatisch sind. Mit enger, stenopäischer Lidspalte können auch gewöhnliche Ametropen — wegen Beschränkung der Zerstreuungskreise — deutlicher sehen, als mit weiter, runder Pupille. Auch nicht astigmatische Myopen und Hypermetropen bedienen sich oft der Neigung ihrer Gläser, um deren Brechkraft, wenigstens in dem zur Drehungsachse senkrechten Meridiane, zu verstärken.

Zweifellos aber haben diese beiden Kriegslisten für den Astigmatiker eine viel größere Bedeutung, als für denjenigen, der sich eines in allen Meridianen gleichmäßig brechenden dioptrischen Systems erfreut. Kann der erstere doch, durch Zukneifen seiner Augenlider und eventuelle Neigung seines Kopfes, den horizontalen oder einen dem horizontalen benachbarten Meridian isolieren, und die anderen Meridiane, die ihm störende Zerstreuungsbilder geliefert hätten, ausschließen.

Andererseits kann die Neigung des Brillenglases, woraus geradezu ein astigmatisches, d. h. ein in einer Richtung stärker, als in der darauf senkrechten, brechendes System entsteht, geeignet sein, den Astigmatismus eines Auges, wenigstens teilweise, zu korrigieren.

Ja, aus der Art und Weise, wie ein solcher Mensch sein Glas stellt, lässt sich auch die ungefähre Lage des stärker, und die des schwächer brechenden Meridianes abnehmen. Trägt er Konkavgläser, und hat er eine ausgesprochene Tendenz, dieselben stark vornüber zu neigen, wenn er scharf zu sehen wünscht, so dürfen wir wohl nachforschen, ob sein vertikaler Meridian, der dadurch sozusagen ein stärkeres negatives Glas erhält, nicht stärker brechend ist, als der horizontale. Dreht er dagegen seinen Kopf mit Vorliebe nach rechts oder links, was einer Drehung des Glases um die vertikale Achse gleichkommt, so können wir, bei konkaven Gläsern, vermuten, sein horizontaler Meridian sei der stärker brechende. — Das Umgekehrte ist der Fall bei Konvexgläsern.

Manche Astigmatiker kommen auf den Kunstgriff, mit dem Finger seitlich auf das Auge zu drücken, und so die unregelmäßige Krümmung desselben auszugleichen. So erinnere ich mich eines Kollegen, der auf diese Weise seinen Astigmatismus von 6 D. vollkommen korrigierte, und die Sehschärfe von 0,2 auf 1 brachte (73, S. 153 und 86, S. 179).

Persistierende, durch sphärische Gläser nicht zu hebende, auf andere Weise nicht zu erklärende Asthenopie, muss ebenfalls auf den Gedanken von vorhandenem Astigmatismus leiten; mehr jedoch noch die Art und Weise, wie der Patient seine Netzhautbilder interpretiert.

Unsere Photogramme, welche die Bilder darstellen, die ein astigmatisches System von Punkten, Linien und einfachen Figuren erzeugen, sind

schon dazu geeignet, uns von dem Sehen der Astigmatiker einen Begriff zu geben. Sie können uns auch dazu dienen, die zur Entdeckung des Leidens geeignetsten Sehzeichen zu finden.

Wenn auch ein einzelner Lichtpunkt dem Astigmatiker nie als solcher erscheint, so ließe sich doch auf diese Thatsache allein eine sichere Diagnose des Astigmatismus kaum bauen. In der That haben, mit diesem Fehler behaftete Leute meistens gelernt, einen Punkt von einer kurzen Linie zu unterscheiden.

Viel eher schon verrät sich der Astigmatiker durch die einem Nichtastigmatiker auffallenden, beinahe unerklärlichen Irrtümer, die er beim Entziffern von einzelnen Buchstaben begeht. So kann er ein O für ein Z halten, wenn der vertikale Meridian nicht auf die Entfernung dieses Buchstabens eingestellt ist, und infolgedessen der obere und untere Teil der runden Figur verbreitert wird, für ein H, wenn, wegen ungenügender Adaptation des horizontalen Meridianes, die beiden Seiten des O in Zerstreuungsbildern erscheinen.

Zu noch auffallenderen Erscheinungen geben meine Sehzeichen, die gebrochenen Ringe, Veranlassung. Wenn ein Patient von ganz gleichgroßen, nur durch die Stellung ihrer Lücke voneinander verschiedenen Ringen, die einen erkennt, die anderen nicht, so ist er sicher astigmatisch. Noch sicherer ist die Diagnose, wenn er in kleineren Ringen die Lücke anzugeben weiß, aber nicht in größeren. Damit ist dann auch gleich die Richtung der Hauptmeridiane gefunden. Der eine ist parallel dem der Lücke entsprechenden, der andere dem darauf senkrechten Durchmesser des Ringes.

Am einfachsten jedoch wird die Diagnose des Astigmatismus, wenn man dem zu Untersuchenden eine größere Zahl verschieden gerichteter Linien vorweist, und ihn fragt, ob ihm alle Linien gleich deutlich erscheinen. Verneint er dies und giebt er an, dass ihm die eine (wenn sie schwarz auf weißem Grunde gedruckt sind) schwärzer, dunkler, schärfer, die anderen mehr oder weniger verwaschen vorkommen, so hat man es sicher mit regelmäßigem Astigmatismus zu thun. Man braucht sich dann nur noch die Richtung der deutlichsten (oder die der undeutlichsten) Linie bezeichnen zu lassen, um gleich auch die Lage der beiden Hauptmeridiane zu kennen.

Ja dies einfache Experiment lehrt uns sogar noch mehr: Es giebt uns auch an, welcher der beiden Hauptmeridiane auf die Entfernung der Sehprobe eingestellt ist. Es ist der zu der am schärfsten erscheinenden Linie senkrechte Meridian. In der That, betrachtet man die Linie als bestehend aus aneinander gereihten Punkten, so überdecken sich die in dem der Linie parallelen Meridiane liegenden Zerstreuungsbilder der Punkte. Die Linie erscheint höchstens verlängert, nicht aber verbreitert, da in der auf sie senkrechten Richtung keine Zerstreuungsbilder entstehen (vgl. Fig. 143).

Die verschieden gerichteten Linien hat man nun zur Bestimmung des Astigmatismus auf mancherlei Weise angeordnet.

O. Becker hat z. B. Gruppen solcher Linien auf einer Tafel zusammengestellt. Der Patient hat dann anzugeben, welche Gruppe er am deutlichsten sieht. — F. Heymann (42b) stellte große gothische, Orestes M. Pray (38) lateinische Buchstaben aus parallelen, jedoch für jeden Buchstaben anders gerichteten Strichen her (Fig. 145).

Fig. 145.

O. Becker's Tafeln zur Bestimmung des Astigmatismus enthalten auch eine Serie koncentrischer Kreise. In einer solchen Figur finden sich in der That alle möglichen Richtungen der Linie vertreten. Da dieselben dem Astigmatiker in der Richtung seines nicht eingestellten Meridianes verwischt erscheinen, so entsteht für ihn das Bild einer Sanduhr, aus deren Stellung die Richtung der Hauptmeridiane leicht abzunehmen ist.

Unter dem Titel »Test diagrams for the detection of astigmatism« (81) hat auch John Green eine Reihe verschiedener Prüfungstafeln zur Bestimmung des Astigmatismus angegeben.

Da dem astigmatischen Auge ein Lichtpunkt in der Richtung eines seiner Hauptmeridiane verlängert erscheint, so brachte Strawbridge (43) rings um einen leuchtenden Punkt, von 10 zu 10°, radiäre Spalten von 9 cm Länge und 5 mm Breite an. Der Untersuchte muss dann angeben, in welcher Richtung ihm der Punkt als Linie erscheint. Er wird zugleich bemerken, dass der diesem Punkte entsprechende Radius für ihn der deutlichste ist.

W. Laidlaw Purver (47) benutzt, zur Bestimmung der Hauptmeridiane des astigmatischen Auges, zwei leuchtende Punkte: feine Öffnungen in einem von hinten beleuchteten Diaphragma. Der eine bleibt unbewegt, während der andere sich, einem Halbkreise entlang, um denselben drehen lässt. Dem Astigmatiker erscheinen die zwei Punkte mehr oder weniger verlängert. Bringt man dieselben in die Richtung des nicht eingestellten Meridianes, so fallen die beiden Zerstreuungsbilder in ein und dieselbe Linie. Stehen die Punkte in der Richtung des adaptierten, resp. korrigierten Meridianes, so sind ihre Zerstreuungsbilder einander parallel. Die Gradteilung des Bogens, welchen der bewegliche Punkt durchläuft, gestattet, die Richtung des einen Meridianes abzulesen. Der andere steht zu diesem senkrecht.

Nach demselben Prinzipe hat auch Hotz (140) ein einfaches Astigmameter konstruiert.

Das beste und zugleich einfachste Prüfungsobjekt zur Bestimmung des Astigmatismus besteht, nach unserem Dafürhalten, in einer Strahlenfigur von zwölf, besser zwanzig Durchmessern oder Radien, wie sie John Green (26), Javal (40) und Snellen (20 und 23) in die ophthalmologische Praxis eingeführt haben.

Die Bestimmung des Astigmatismus wird mit allen diesen Prüfungsobjekten in derselben Weise vorgenommen. Dieselben werden, in gleicher Entfernung wie die Sehproben überhaupt, aufgestellt. Man versieht das zu untersuchende Auge mit dem sphärischen Glase, das ihm die beste Sehschärfe giebt. Da der Astigmatiker immer einen seiner beiden Hauptmeridiane zum deutlichen Sehen benutzt, so entspricht dies Glas der Refraktion eines dieser beiden Meridiane, und zwar steht derselbe, wie gesagt, senkrecht zu der am schärfsten erscheinenden Linie der Strahlenfigur. — Giebt der Patient beispielsweise die vertikale Linie als die schwärzeste an, so ist der horizontale Meridian korrigiert. Zugleich wird er bemerken, dass die horizontale Linie die undeutlichste ist, was darauf hindeutet, dass der darauf senkrechte, d. h. der vertikale Meridian, nicht korrigiert ist.

Es erübrigt also nur noch, die Refraktion dieses anderen Hauptmeridianes zu bestimmen. Man kann dieselbe (in unserem Beispiele die des vertikalen) dadurch finden, dass man das sphärische Glas aufsucht, mit welchem die auf die erstere senkrechte Linie deutlich erscheint. Dasselbe korrigiert offenbar den anderen Hauptmeridian. Ergiebt sich z. B. mit Konkav 3 die beste Sehschärfe und größte Deutlichkeit der vertikalen Linie, während mit Konkav 5 die horizontale Linie am deutlichsten wird, so besteht im horizontalen Meridiane Myopie 3, im vertikalen Myopie 5, also ein Astigmatismus von 5 — 3 = 2 D.

Benutzt man sphärische Gläser zur Bestimmung des Astigmatismus, so erhält man noch genauere Resultate, wenn man die Hauptmeridiane isoliert. Dazu dient ein vor dem Auge drehbares Diaphragma mit einer Spalte. Dieselbe wird erst dem einen, dann dem anderen Meridiane parallel gestellt, während hinter ihr die sphärischen Gläser vorbeigeführt werden, bis dasjenige gefunden ist, das die auf die Spalte senkrechte Linie vollkommen deutlich macht, und zugleich die beste Sehschärfe ergiebt. Ein solches graduiertes Diaphragma kann z. B. in unser Ophthalmoskop eingefügt werden und macht das Instrument also auch zur subjektiven Bestimmung des Astigmatismus tauglich (S. 78, Fig. 36 A).

Hat man, wie in jedem vollständigen Brillenkasten, Cylindergläser zur Hand, so wird die Bestimmung des Astigmatismus noch einfacher. Da diese Gläser nämlich nur in einem, in dem zu ihrer Achse senkrechten Meridiane regelmäßig, in dem der Achse gleichgerichteten aber gar nicht wirken, so sind sie gerade dazu geeignet, den durch das sphärische Glas nicht korrigierten Meridian auf das Prüfungsobjekt einzustellen, und zwar ohne Beeinträchtigung der Refraktion in dem darauf senkrechten Meridiane. Dies Cylinderglas ergiebt dann also direkt den Brechungsunterschied zwischen den beiden Meridianen, d. h. den Grad des Astigmatismus.

Erhält man, wie in obigem Beispiele, mit Sphärisch konkav 3 die beste Sehschärfe, und erscheint damit die vertikale Linie am deutlichsten, so

lässt man dem Patienten dies Glas, und sucht den Cylinder, mit welchem auch die horizontale Linie — und damit die ganze Strahlenfigur — deutlich wird. Die Achse dieses Cylinders muss jedenfalls horizontal gerichtet sein, da er den vertikalen Meridian korrigieren soll. — Ob der Cylinder aber konkav oder konvex, negativ oder positiv sein muss, das können wir aus den bisherigen Angaben des Patienten noch nicht entnehmen. Wir wissen nur aus der Erfahrung, dass, in der großen Mehrzahl der Fälle, der vertikale Meridian der stärker, der horizontale der schwächer brechende ist. So werden wir es denn, in unserem Falle, mit einem horizontal gerichteten, konkaven Cylinder versuchen. Von welcher Stärke derselbe sein muss, das kann uns auch nur vielfache Erfahrung annäherungsweise lehren. Ist der Patient z. B. nicht mit besonderer Geistesschärfe ausgestattet, und hat er doch unsere Frage nach der deutlichsten Linie rasch und entschieden beantwortet, so schließen wir, dass es sich um einen ziemlich hohen Grad von Astigmatismus handelt, und beginnen gleich mit einem relativ starken Cylinder, z. B. — 2. Sollte damit der Unterschied in der Deutlichkeit der Linien zu-, die Sehschärfe abnehmen, so würden wir nach einem positiven Cylinder greifen. Gleichen sich dagegen die Linien aus, so werden wir, mit halben bis Viertels-Dioptrien steigend oder fallend, den konkaven Cylinder bestimmen, mit welchem sie alle gleich deutlich erscheinen.

Zur Änderung der Richtung des Cylinders, muss die Probierbrille eine Fassung besitzen, mittelst welcher derselbe leicht vor dem Auge herumgedreht werden, und an welcher die jeweilige Stellung seiner Achse abgelesen werden kann.

Von größter Wichtigkeit ist es dabei, dass sich der Cylinder genau da befinde, wohin er als Brillenglas zu stehen kommt. Da dies auch für das eventuell erforderliche sphärische Korrektionsglas der Fall ist, so folgt daraus, dass sich die beiden Probiergläser, welche später zu einem einzigen Glase zusammengeschliffen werden, wenigstens in Kontakt befinden müssen, nicht aber in einer gewissen Entfernung voneinander aufgestellt werden dürfen. Kann doch, bei starken Cylindern, schon eine merkliche Verschiedenheit der Wirkung entstehen, je nachdem sie auf der dem Auge zu-, oder auf der von dem Auge abgewandten Seite, dem sphärischen Glase aufgeschliffen werden.

Für die seltenen Fälle, wo es wünschenswert erscheinen sollte, zwei senkrecht zu einander stehende Cylinder, statt eines sphärischen und eines cylindrischen Glases, zu verwenden, muss sich eben die den beiden Cylindern gemeinsame Fassung in dem graduierten Ringe bewegen. — Die Einteilung der Cylinderfassung werden wir weiter unten erörtern.

Der englische Gelehrte Stokes (27 b) hat, durch Drehung zweier gleichstarker Cylindergläser übereinander, einen Cylinder von veränderlicher Stärke hergestellt, welcher als Stokes'sche Linse bekannt ist.

Javal (23a), und später Snellen (48), haben versucht, Stokes Erfindung für die Praxis brauchbar zu machen. In ihrer ursprünglichen Form konnte sie nämlich schon deshalb nicht verwendet werden, weil in Stokes Instrument der eine Cylinder unbeweglich ist, und daher die Achse des, aus der Drehung des anderen resultierenden Cylinders, sich fortlaufend verändert.

Um eine konstante Achse zu erhalten, kombinierte Javal einen konvexen, feststehenden Cylinder, mit zwei konkaven Cylindern von der halben Stärke des konvexen, die sich, mit gleicher Schnelligkeit, in umgekehrtem Sinne, übereinander drehen lassen. So würde man beispielsweise, mit einem konvexen Cylinder von 3 D. und zwei konkaven Cylindern von 1,5 D., die Cylinderserie von 0 bis 6 herstellen können. Um aber den jeweilig erforderlichen Cylinder zu erhalten, muss man das Instrument mit den sphärischen Gläsern des Brillenkastens kombinieren.

Snellen brachte erst einen konkaven und einen konvexen Cylinder von 3 D. in die von dem Optiker Crétès angefertigte Fassung des Doppelprismas (siehe Prüfung der Augenbewegungen). Auf diese Weise erhält man aber, wie der Verfasser selbst angiebt, nicht nur einen, sondern zwei veränderliche Cylinder, deren Wirkungen zu einander senkrecht stehen. Er wählte deshalb später zwei konkave Cylinder von 3 D. Sind sie gleichgerichtet, so entsprechen sie einem Cylinder von 6 D.; stehen sie senkrecht zu einander, so kommt ihre Wirkung der eines sphärischen Konkav 3 gleich. In den dazwischenliegenden Stellungen, durchläuft der resultierende Cylinder die Wirkungen von 0 bis 6 D., der sphärische Diopter die von 0 bis 3 D. Um diese sphärische Wirkung zu eliminieren, verband Snellen seine Stokes'sche Linse mit einer Art Galiläi'schen Fernrohres, bestehend aus Sphärisch konkav und konvex 9 D., mit veränderlichem Abstande. Aber auch damit erhält man zwar wohl einen Cylinder von veränderlicher, nicht aber von der gerade erforderten Stärke. Überhaupt hat sich Stokes Linse, trotz der daran angebrachten Modifikationen, nicht in die ophthalmologische Praxis einzubürgern vermocht.

Nach welcher Art und Weise man auch den Astigmatismus bestimmt habe, das Resultat der Untersuchung muss immer mit Hilfe der Sehschärfe geprüft werden. Dieselbe muss, wenn der Brechungsfehler korrigiert ist, notwendigerweise zunehmen, und zwar ganz beträchtlich, wenn es sich um einen Astigmatismus von 2 und mehr Dioptrien handelt, weniger, wenn derselbe nur eine halbe Dioptrie beträgt. Zu dieser Kontrolle wird dem untersuchten Auge die Gläserkombination vorgesetzt, die aus der Bestimmung der Refraktion der beiden Hauptmeridiane folgt. Sehr häufig findet man dabei, dass der Patient nicht nur im Ganzen schwächere Gläser verträgt, sondern mit denselben sogar eine bessere Sehschärfe erlangt. Dies rührt daher, dass eine länger fortgesetzte Untersuchung, namentlich bei jüngeren Individuen, leicht eine beträchtliche Akkommodationsanstrengung hervorruft.

Es empfiehlt sich daher, die Prüfung des Astigmatismus nicht allzulange auszudehnen, und jedenfalls an verschiedenen Tagen zu wiederholen, ehe man die Gläser verschreibt.

Giebt ein auf Astigmatismus verdächtiger Patient keinen Unterschied in der Deutlichkeit verschieden gerichteter Linien an, so ist damit noch nicht bewiesen, dass er nicht astigmatisch sei. Einmal kann der optische Fehler sehr klein, jedenfalls für die Beobachtungsgabe des Patienten zu gering sein. Dreht man dann einen Cylinder von 0,5 oder mehr Dioptrien langsam vor seinem Auge herum, so findet man nicht selten eine Stellung desselben, bei welcher der Patient von selbst erklärt, er sehe deutlicher, und ein wirkliches Steigen der Sehschärfe zu konstatieren ist.

Umgekehrt kann es aber auch vorkommen, dass ein sehr hochgradiger Astigmatismus das Sehen so sehr beeinträchtigt, dass der Patient von den gewöhnlichen Probeobjekten zur Erkennung des Astigmatismus so unvollkommene Netzhautbilder erhält, dass er nicht im stande ist, unsere Fragen nach der ihm deutlichsten Linie u. s. w., zu beantworten.

Für solche Fälle stark herabgesetzter Sehschärfe, muss man sich dann größerer Sehzeichen bedienen, wie sie z. B. van Haaften in der Form einer Strahlenfigur gegeben hat, deren Radien viermal länger sind als die Snellen-schen, und aus je drei Linien bestehen, die sich gegen das Centrum hin verlängern. — Die Radien der unseren Sehproben beigegebenen Strahlenfigur sind ebenfalls etwas dicker und länger als die Snellen'schen, um auch bei herabgesetzter Sehschärfe verwendet werden zu können. — Sodann kann man das oben angeführte Experiment mit einem starken Cylinder versuchen, denselben in verschiedenen Richtungen vor das Auge haltend, um zu erfahren, ob er in irgend einer derselben die Sehschärfe bedeutend verbessert oder verschlimmert. In beiden Fällen ist Astigmatismus nachgewiesen, und braucht man dann nur noch, mit immer genauerer Feststellung der Hauptmeridiane und der Nummer des korrigierenden Glases, den Grad desselben vollkommen zu bestimmen.

Javal (20 und 21) hat, zur Bestimmung des Astigmatismus, ein Optometer angegeben, das aus einem viereckigen, ausziehbaren Kasten besteht, in dessen vorderer Wand sich zwei Konvexgläser von etwa 13 D. befinden. Beide Augen werden offen gehalten, und auf den im Grunde des Apparates angebrachten Karton gerichtet. Derselbe trägt für jedes Auge einen Kreis, der durch seine binokuläre Verschmelzung, den Parallelismus der Augenachsen, und möglichste Erschlaffung der Akkommodation herbeiführen soll. Während der dem nicht untersuchten Auge entsprechende Kreis leer ist, enthält der andere eine zifferblattähnliche Strahlenfigur. Besteht Astigmatismus, so bleibt, bei der Entfernung dieses Sehobjektes, d. h. beim Ausziehen des Instrumentes, eine der Linien deutlich, während die anderen verschwinden. Die deutlich gesehene Linie steht senkrecht zu dem schwächst brechenden

Meridiane. Ist die Einstellung des Apparates gefunden, so sucht man den zur Richtung der schärfst gesehenen Linie senkrechten Konkavcylinder, mit welchem alle Radien der Figur gleich deutlich werden. Um das erforderliche Cylinderglas rasch zu finden, lassen sich vor der Konvexlinse, um die gleiche Achse, zwei Rekoss'sche Scheiben drehen, von denen jede vier negative Cylinder enthält. Jedes der acht Gläser lässt sich einmal allein, sodann in Verbindung mit den vier Gläsern der anderen Scheibe verwenden. So erhält man 32 verschiedene Grade cylindrischer Wirkung. Die Einstellung der Achse der Cylinder geschieht durch Drehung der Gesamtfassung.

Wo die Antworten des Patienten unzuverlässig sind, da ist eben von einer subjektiven Untersuchung nicht viel zu erwarten, und tritt dann die objektive in ihre Rechte. Häufig genügt die einfache Beleuchtung des Auges mit dem Spiegel, die Koroskopie, oder die Betrachtung des aufrechten Bildes, um uns über das Vorhandensein des Astigmatismus, die Lage der Hauptmeridiane, ja sogar deren Brechung, Rechenschaft zu geben.

Auch die Messung der Krümmung einer einzigen brechenden Fläche des Auges, der Hornhaut, mittelst eines Keratometers, kann uns in solchen Fällen, durch Anzeige der mutmaßlichen Richtung der Hauptmeridiane und ihres Brechungsunterschiedes, wertvolle Hilfe leisten.

Häufig erhalten wir, bei annähernder Korrektion seines optischen Fehlers, von dem Patienten die Antworten, welche uns zu dessen vollkommener Korrektion führen. Genaueres über die objektive Bestimmung des Astigmatismus werden wir im nächsten Paragraphen erfahren.

Ist der Astigmatismus des einen Auges bestimmt, so gelingt die Korrektion desselben auf dem anderen Auge, falls ein solcher vorhanden ist, viel rascher. Und zwar aus dem Grunde, weil, in der größten Mehrzahl der Fälle, die Achsen des Astigmatismus auf beiden Augen zur Mittellinie des Körpers symmetrisch liegen. Ist der eine Hauptmeridian nicht vertikal auf beiden Augen, so ist er gewöhnlich in beiden gleichzeitig nach der Schläfe, oder nach der Nase geneigt. Diese Thatsache hat zweifellos ihren tieferen Grund in der Ätiologie des Astigmatismus; sie steht mit derselben in innigstem Zusammenhange. Jedenfalls drängt sie uns, mit logischer Notwendigkeit, darauf, bei der Bezeichnung der Lage der Hauptmeridiane des Astigmatismus, von der Mittellinie des Körpers aus, und für beide Augen symmetrisch vorzugehen.

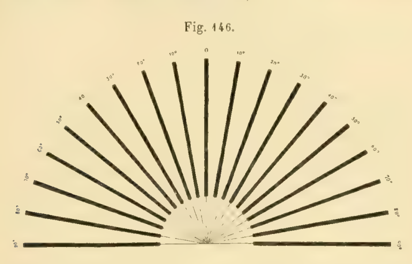
Bezeichnung der Richtung der Hauptmeridiane des astigmatischen Auges, resp. der den Astigmatismus korrigierenden Cylindergläser.

§ 77. Zur Bezeichnung der Richtung der Hauptmeridiane des Astigmatismus, resp. der korrigierenden Cylinder, wählt man am besten einen aufwärts gerichteten Halbkreis, dessen Scheitel den Nullpunkt der Ein-

teilung trägt, welche zu beiden Seiten bis 90°, der Horizontalen, weiter geht (Fig. 146)[1]).

So wird die Bezeichnung des Astigmatismus außerordentlich leicht, einfach und verständlich. In der That, sagt man von einem Meridiane, er sei 15° temporal geneigt, so wird jedermann verstehen, dass man von der Vertikalen abrechnet, und dass das obere Ende des Meridianes auf dem linken Auge nach links, auf dem rechten nach rechts neigt. (Für besondere Mäkler allein brauchte man beizufügen, dass wir, wie allgemein der Brauch, von oben und nicht von unten abrechnen.)

Fig. 146.



Und, geben wir für jedes Auge die Richtung des entsprechenden Meridianes an, so erhellt aus den Zahlen sogleich die mehr oder weniger vollkommene Symmetrie derselben.

Nach diesem Prinzipe sind denn auch die meisten Probetafeln zur Bestimmung des Astigmatismus, namentlich die allerbequemste, Snellen's oben angegebene Strahlenfigur, numeriert[2]).

---

1) Diese Ansicht habe ich immer (60, 68, 86, 124, 129), namentlich auch im Jahre 1887, am Kongresse der französischen Ophthalmologen, einer Kommission zur Bezeichnung des Astigmatismus gegenüber, vertreten. Nach derselben sollte die Bezeichnung für beide Augen nicht symmetrisch, sondern identisch und kontinuierlich sein, und zwar, da bei dem zur Prüfung benutzten Zifferblatte die Null oben stehe, müsse sie sich, auf der Probierbrille, an einem Ende des horizontalen Meridianes befinden, am rechten, wenn der untere, am linken, wenn der obere Halbkreis graduiert sei, da die Einteilung, vom Patienten aus gesehen, wie der Zeiger der Uhr herumgehen müsse.

Die Einteilung unserer Probierbrille ist dagegen identisch mit derjenigen der Radienfigur zur Bestimmung des Astigmatismus. Wir sehen in der That nicht ein, was uns zur Annahme des Zifferblattes zu diesem Zwecke nötigt. Rapport de la Commission pour la notation de l'astigmatisme. Soc. franc. d'Opht. S. 237. 1887.

2) Snellen wollte ursprünglich die links von der Vertikalen liegenden Grade mit minus, die rechts davon liegenden mit plus bezeichnen. Damit wäre aber nicht nur die Symmetrie wieder gestört, sondern auch Grund zu Verwechslungen gegeben.

In der Mitte oben befindet sich der Nullpunkt. Die Strahlen gehen auf beiden Seiten von 10 zu 10° bis 90°. Die so erhaltenen 18 verschiedenen Richtungen, mit einem Intervall von 10°, sind nach unserer Erfahrung, für die praeliminäre Feststellung der Lage der Meridiane des astigmatischen Auges gerade genügend. Die genaue Richtung erhalten wir dann durch Drehung des Cylinderglases, dessen Fassung eine in gleichem Sinne, aber mindestens von 5 zu 5°, numerierte Einteilung tragen soll.

Javal (20) hat die zur Diagnose des Astigmatismus dienenden Radien nach Art eines Zifferblattes angeordnet, um dem Patienten die Bezeichnung der Richtung derselben zu erleichtern. Auf diese Weise erhält man aber nur sechs verschiedene Richtungen mit 30° Intervall, was entschieden zu groß ist.

Nach dem Prinzipe der Uhr, lässt Javal die Bezeichnung der Meridiane unsymmetrisch für das linke Auge von der Schläfe, für das rechte von der Nase ausgehen, und oben herum bis an das andere Ende des horizontalen Meridianes, bis 180° wandern. Hat dann z. B. der eine Meridian in beiden Augen die gleiche temporale Neigung von 25°, was wir durch L. und R. 25° t ausdrücken, so würde, nach Javal, zu schreiben sein: L. 65°, R. 115°, Zahlen, aus welchen die Symmetrie der beiden Meridiane jedenfalls nicht ins Auge springt.

Harlan (179) schlägt vor, die Bezeichnung der Meridiane des astigmatischen Auges von der Nase als Nullpunkt ab, und symmetrisch nach beiden Seiten oben herum gehen zu lassen. — Peter (206) verlegt den Nullpunkt an das nasale Ende des horizontalen Meridianes und geht oben herum bis 180° an das temporale Ende.

Bettremieux (130b) fängt vom unteren Ende des vertikalen Meridianes zu zählen an, Armagnac beim linken Auge von der Schläfe, beim rechten von der Nase aus; er geht aber unten herum, so dass 90° das untere Ende des vertikalen Meridianes bezeichnet (130c)[1].

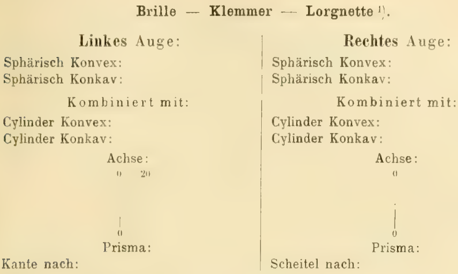
Bedient man sich einer dieser Bezeichnungsweisen, die nicht von der Vertikalen symmetrisch nach beiden Seiten gehen, so muss man nicht nur jedesmal das Prinzip derselben auseinandersetzen, sondern, beim Verschreiben der Korrektionsgläser, auch noch angeben, ob rechts und links vom Patienten oder vom Beobachter aus gemeint sei, resp. ob der Optiker, beim Fassen der Gläser, die Brille von vorn oder von hinten zu betrachten hat, sonst läuft man Gefahr, gerade die umgekehrte Richtung der Cylinderachse zu erhalten.

Von diesen Übelständen befreit uns, bei der eingangs empfohlenen Methode, die einfache Bezeichnung temporal (t) oder nasal (n) (133).

---

1) Vgl. auch S. 67.

Um die Verschreibung der Brillen überhaupt, die der Cylindergläser im speziellen, einfach und allgemein verständlich zu machen, bedienen wir uns folgenden gedruckten Schemas, das uns seit zwanzig Jahren die besten Dienste leistet.



Brille — Klemmer — Lorgnette[1].

Linkes Auge:	**Rechtes** Auge:
Sphärisch Konvex:	Sphärisch Konvex:
Sphärisch Konkav:	Sphärisch Konkav:
Kombiniert mit:	Kombiniert mit:
Cylinder Konvex:	Cylinder Konvex:
Cylinder Konkav:	Cylinder Konkav:
Achse:	Achse:
0 20	0
0	0
Prisma:	Prisma:
Kante nach:	Scheitel nach:

Gläser: muschelförmig, Rauchglas, Nüance:
Gläser: muschelförmig, blaues Glas, Nüance:
Gegenseitiger Abstand der Gläsercentren:
Brillengestell: Nase:
Branche:

Die Thatsache, dass die Verordnung für das linke Auge auf der linken, die für das rechte Auge auf der rechten Hälfte des Blattes steht, beweist dem Optiker schon, dass dieselben als von dem Patienten aus gesehen betrachtet sind, die mit Null bezeichnete vertikale Linie, dass die Neigung der Cylinderachse von dieser Stellung ab gerechnet ist. Der Augenarzt braucht nur durch den Mittelpunkt der vertikalen Linie einen ungefähr in der gewünschten Richtung der Achse liegenden Strich zu ziehen, und an dessen oberem Ende die erforderliche Zahl der Grade anzumerken, so kann über die Lage derselben kein Zweifel herrschen. Aus obiger Skizze wird z. B. jedermann abnehmen, dass der Cylinder des linken Auges um 20° nach innen, d. h. nasalwärts geneigt sein soll.

Man thut in jeder Hinsicht, so auch bei der Untersuchung der Augen, gut, sich an die Stelle des Patienten zu versetzen. Deswegen haben wir auf die linke Seite des Blattes das linke, auf die rechte das rechte Auge gesetzt. Deswegen pflegen wir auch die Untersuchung jeweilen mit dem linken Auge zu beginnen. So schreibt man auch, bei der Notierung des

[1] Die nicht gewünschte Form wird gestrichen.

Befundes, wie im gewöhnlichen Leben, von links nach rechts. Viel Gewicht ist ja natürlich auf eine solche Kleinigkeit nicht zu legen, doch haben wir uns damit manchen Zeitverlust und manches Missverständnis erspart.

Alle die unter der subjektiven Refraktionsbestimmung genannten Optometer lassen sich auch zur Bestimmung des Astigmatismus verwenden. Die aus einer einzigen Konvexlinse bestehenden, sowie die auf dem Prinzipe des Galiläi'schen Fernrohres beruhenden, enthalten zu diesem Zwecke als Fixierobjekt eine Strahlenfigur, oder parallele Linien, deren Richtung geändert werden kann (Perrin und Mascart). Die nach dem astronomischen Fernrohre gebauten, werden auf die an der Wand, neben den Sehproben befestigten Astigmatismustafeln gerichtet.

Das Instrument wird so eingestellt, dass erst eine Linie der Figur, sodann die darauf senkrechte, mit größter Deutlichkeit hervortritt. Die Refraktionsdifferenz zwischen den beiden Einstellungen ergiebt den Grad des Astigmatismus.

Da eine mäßige Akkommodationsanspannung auf den Astigmatismus keinen bedeutenden Einfluss ausübt, weil dabei die Refraktion in dem einen Meridiane nicht merklich mehr steigt als in dem anderen, so dürfte die mit diesem Optometer geführte Messung des Astigmatismus weniger Fehlern ausgesetzt sein, als die der statischen Refraktion des Auges. Allerdings ist nicht zu vergessen, dass dabei die Refraktion, nicht wie bei der Kombination der Brillengläser, in beiden Meridianen gleichzeitig, sondern in dem einen nach dem anderen bestimmt wird. Es ist also möglich, dass der Patient, von einem zum anderen Male seine Akkommodation ändert und damit die Genauigkeit der Untersuchung beeinträchtigt.

Wie bei allen Methoden der Astigmatismusbestimmung, muss eben auch hier das Resultat, mit Hilfe der durch die entsprechenden Brillengläser erhaltenen Sehschärfe, geprüft und eventuell modifiziert werden.

Wie Scheiner's Versuch zur Bestimmung des Astigmatismus verwertet werden kann, haben wir oben, bei Anlass der Optometer von W. Thomson, von Ward und Holden, und unserem eigenen, auseinandergesetzt.

B. Objektive Methoden zur Bestimmung des Astigmatismus.

§ 78. Die Methoden, welche wir bei der objektiven Bestimmung der Refraktion überhaupt betrachtet haben, können selbstverständlich auch zur Bestimmung des Astigmatismus dienen.

Ist die Refraktion in verschiedenen Meridianen des Auges eine verschiedene, so müssen sich notwendigerweise die Erscheinungen, auf welche diese Methoden basiert sind, in den beiden Hauptmeridianen in verschiedener Weise geltend machen.

Diese Methoden beruhen alle auf der Betrachtung der vom Augengrunde herkommenden Lichtstrahlen. Sie gehören in das Gebiet der Ophthalmoskopie. Einer anderen objektiven Bestimmung seines Brechzustandes ist das Auge, wenigstens in der Praxis, nicht zugänglich, da derselbe mehr noch von dessen Achsenlänge als von der Brechkraft seiner Medien abhängt, die letztere aber nur schwer, die erstere im Leben gar nicht mit Genauigkeit gemessen werden kann.

Da der Astigmatismus dagegen hervorgerufen wird durch eine Krümmungsanomalie der brechenden Flächen des Auges, und sich die Form derselben direkt beobachten lässt, so dürfen wir hoffen, zur Bestimmung des Astigmatismus, außer den ophthalmoskopischen, auch ophthalmometrische Methoden zu finden. Wie weit diese Hoffnung gerechtfertigt ist, werden wir am Ende dieses Paragraphen sehen.

Betrachten wir vorläufig die Methoden, welche auf der Brechung der vom Augengrunde kommenden Strahlen beruhen.

Ist die Refraktion in zwei aufeinander senkrechten Meridianen verschieden, so muss jeder der beiden zu denselben ophthalmoskopischen Erscheinungen Veranlassung geben, wie ein mit gleicher Refraktion ausgestattetes Auge. Das ophthalmoskopische Bild des Augengrundes wird also in den Richtungen der beiden Hauptmeridiane in mehrfacher Beziehung verschieden sein.

Ist z. B. die Lichtbrechung im vertikalen Meridiane stärker als im horizontalen, so braucht der Beobachter geringere Brechkraft, um horizontal verlaufende Gefäße, den oberen und unteren Rand der Papille im aufrechten Bilde scharf zu sehen, als vertikale Gefäße und die seitlichen Ränder der Papille.

Zugleich muss die Vergrößerung, in welcher ihm die Objekte des Augengrundes erscheinen, beträchtlicher sein im vertikalen als im horizontalen Meridiane, ist doch sozusagen die Lupe, durch die er sie betrachtet, in ersterer Richtung stärker als in letzterer.

Das Umgekehrte findet statt im umgekehrten Bilde. Sowie die Vergrößerung desselben geringer ist bei Myopie als bei Hypermetropie, und abnimmt mit dem Grade der Myopie, zu mit dem der Hypermetropie, so ist auch die Vergrößerung des umgekehrten Bildes im Sinne des stärker brechenden Meridianes geringer, als in dem des schwächer brechenden.

Dazu kommt noch der Einfluss, den der Abstand des Beobachters, resp. der Konvexlinse vom Auge, auf die Größe des aufrechten, resp. des umgekehrten Bildes ausübt. Er ist in den zwei Hauptmeridianen verschieden, so dass, wenn bei Veränderung des Abstandes der Linse die Papille ihre Form zu verändern scheint, mit Sicherheit auf Astigmatismus geschlossen werden kann.

Erinnern wir uns auch an die Erscheinungen der Parallaxe und an ihre Abhängigkeit vom Refraktionszustande des Auges. Hat die Scheinbewegung der Objekte des Augengrundes, bei Bewegung unseres Kopfes, oder der zur Hervorrufung des umgekehrten Bildes verwendeten Linse, auch keine sehr große Bedeutung bei der Bestimmung der Refraktion überhaupt, so kann sie wohl verwertet werden in dem Falle von Astigmatismus, wo sie sich in verschiedener Richtung verschieden äußert.

Endlich wird uns auch die ophthalmoskopische Beobachtung der Netzhautbilder, die das untersuchte Auge von außer ihm gelegenen Objekten erhält, mögen diese Bilder deutlich oder undeutlich sein, Mittel an die Hand geben, den Astigmatismus desselben zu bestimmen; stehen doch auch sie unter dem Einflusse dieser eigentümlichen Lichtbrechung.

Bestimmung des Astigmatismus mit Hilfe des aufrechten Bildes.

Sucht man die Refraktion eines Auges im aufrechten Bilde zu bestimmen, und gelingt es nicht, ein sphärisches Glas zu finden, mit welchem der gesamte Rand der Papille, alle, auch die in den verschiedensten Richtungen verlaufenden Gefäße, gleichzeitig deutlich erscheinen, so hat man es sicher mit einem astigmatischen Auge zu thun. Emmetropie und Akkommodationsruhe des Beobachters vorausgesetzt, ergiebt das stärkste Konvex-, resp. das schwächste Konkavglas, den Brechzustand des auf die am schärfsten gesehenen Gefäße senkrechten Meridianes. Der des anderen Meridianes wird in gleicher Weise mit Hilfe eines auf das erste senkrecht verlaufenden Gefäßes, oder des gegenüberliegenden Randes der Papille bestimmt.

Die Differenz zwischen den beiden giebt den Grad des Astigmatismus.

Besitzt man ein Ophthalmoskop, das nicht nur sphärische, sondern auch cylindrische Gläser enthält, so bestimmt man erst die Richtung und Refraktion des einen Hauptmeridianes mittelst der sphärischen Gläser, und dann die des anderen Meridianes mit den über dem sphärischen Korrektionsglase durchpassierenden Cylindern, deren Achse selbstverständlich auf dem zu bestimmenden Meridian senkrecht stehen muss.

Schöler (63), Parent (187) u. a. haben solche Vorrichtungen mit dem Ophthalmoskope verbunden. — Schweigger (188) und Laidlow, Purves (61) suchten dazu die Stokes'sche Linse zu verwerten.

Von sehr großer Wichtigkeit ist es, dass das Korrektionsglas senkrecht zur Achse des beobachtenden Auges stehe, sonst wirkt ein sphärisches Glas stärker in der zu seiner Drehungsachse senkrechten Richtung, wodurch jede genaue Refraktionsbestimmung unmöglich wird.

Besäße der Augengrund ein Objekt von konstanter Form, wäre z. B. die Papille kreisrund, so ließe sich die Diagnose des Astigmatismus schon

durch die einfache Betrachtung derselben machen: Erschiene sie verzogen, so wäre Astigmatismus vorhanden, und zwar entspräche, im aufrechten Bilde, die große Achse der Ellipse dem stärker, die kleine dem schwächer brechenden Meridiane. Nun ist aber die Form der Papille eine so inkonstante, dass sich aus ihr allein noch kein Schluss auf die Brechung des optischen Apparates machen lässt. Einen Anhaltspunkt gewinnt man erst, wenn man den Einfluss zu Rate zieht, den Entfernung vom und Annäherung an das Auge auf die Form der Papille ausüben. Die Vergrößerung des aufrechten Bildes ist nämlich bei Emmetropie in jeder Entfernung dieselbe; bei Hypermetropie ist sie um so geringer, bei Myopie um so stärker, je weiter das Korrektionsglas vom Auge absteht.

Es ist dies dasselbe Gesetz, dem wir schon bei der Refraktionsbestimmung mittelst der Sehschärfe begegnet sind, nur ist es diesmal auf die vom Augengrunde herkommenden Strahlen angewandt.

Besteht also, beispielsweise, im vertikalen Meridiane Myopie, im horizontalen Hypermetropie, so wird, bei Entfernung des Beobachters vom untersuchten Auge, dessen Papille einer stehenden Ellipse gleichen, welche im Sinne ihrer langen, vertikalen Achse rasch zu-, in dem der kürzeren, horizontalen, abnimmt.

Ist der Unterschied der Brechung in den beiden Hauptmeridianen nicht sehr groß, so ist die Beurteilung dieser Verzerrung des Bildes der Papille zu unsicher, um diagnostisch verwertet werden zu können. Gute Dienste leistet dagegen die Vergleichung der Vergrößerung, resp. der Form der Papille im aufrechten, mit derjenigen im umgekehrten Bilde.

Bestimmung des Astigmatismus mittelst des umgekehrten Bildes.

Die Vergrößerung des umgekehrten Bildes verhält sich, wie wir schon mehrmals erwähnt haben, gerade umgekehrt wie die des aufrechten. Ist also der vertikale Meridian eines Auges stärker brechend als der horizontale, so wird die Papille im aufrechten Bilde in vertikaler, im umgekehrten in horizontaler Richtung verlängert erscheinen. Diese Beobachtung allein genügt schon, um das Vorhandensein von Astigmatismus, ja selbst die Richtung der Hauptmeridiane, wenigstens ungefähr, festzustellen.

Noch weitere Anhaltspunkte gewinnt man, wie oben erwähnt, wenn man bei der Betrachtung des aufrechten Bildes sich selbst, beim umgekehrten Bilde die Konvexlinse langsam vom untersuchten Auge entfernt.

Steht die letztere nämlich dem Auge möglichst nahe, so ist die Vergrößerung des umgekehrten Bildes in dem stärker brechenden Meridiane am geringsten. Ist es der vertikale Meridian, so würde eine kreisrunde Papille als horizontale Ellipse erscheinen.

Steht die Konvexlinse gerade um ihre Brennweite vom untersuchten Auge entfernt, so ist die Vergrößerung in beiden Meridianen, trotz deren ungleicher Brechkraft, dieselbe [1]).

Zwischen diesen beiden Stellungen der Linse haben die Durchmesser der Papillenbilder entweder zu- oder abgenommen. Zugenommen haben sie in einem myopischen Meridiane, abgenommen in einem hypermetropischen.

Hat das Papillenbild in beiden Hauptmeridianen zugenommen, so besteht Myopie in beiden, und zwar die stärkere in der Richtung der rascheren Zunahme. — Sind beide Meridiane hypermetropisch, so nimmt, bei Entfernung der Konvexlinse, die Größe des umgekehrten Bildes in beiden Richtungen ab, und zwar um so rascher, je stärker die Hypermetropie ist.

Entfernt sich die Linse über ihre Brennweite von dem untersuchten Auge, so kehren sich die Verhältnisse der Vergrößerung um. Man kann also die Resultate der beiden Beobachtungen miteinander vergleichen und durch einander kontrollieren.

Zu diesen, an und für sich ganz richtigen, von Giraud-Teulon (191) ausgesprochenen Gesetzen, bemerkt Parent nicht mit Unrecht, dass, bei der Stellung der Linse, wo deren Brennpunkt mit dem Hauptpunkte des Auges zusammenfällt, die Größe des umgekehrten Bildes allerdings für die beiden ungleich brechenden Meridiane die gleiche ist, dass dies Bild aber für die beiden Meridiane in ungleicher Entfernung zu stande kommt, dem stärker brechenden Meridiane näher, von dem schwächer brechenden weiter entfernt. Der Beobachter wird also z. B. die Papille in der Richtung des schwächer brechenden Meridianes größer schätzen, als in der des stärker brechenden, dessen Bild etwas weiter von ihm entfernt ist. Dem Beobachter erscheint also das ihm näher liegende, dem hypermetropischen Meridiane entsprechende Bild etwas größer, das dem myopischen entsprechende etwas kleiner.

Handelt es sich darum, die Größe des Papillenbildes bei verschiedener Entfernung der dasselbe produzierenden Konvexlinse zu beobachten, so darf dasselbe nie größer sein als die durch die Linse betrachtete Pupille, sonst würde ja ein Teil desselben vom Pupillenrande verdeckt. Es ist deshalb wünschenswert, dass die Pupille bei diesen Versuchen möglichst weit sei. Außerdem vergessen wir nicht, dass das von der Pupille entworfene Bild, welches das des Augengrundes umrahmt, am größten ist, d. h. ganz

---

1) Bei Astigmatismus haben wir es nämlich zu thun mit sogenannter Krümmungs-, und nicht mehr, wie gewöhnlich, mit Achsenametropie. Das Zusammenfallen des Brennpunktes der Linse mit dem ersten Hauptpunkte des Auges hat dann denselben Einfluss wie das Zusammenfallen dieses Brennpunktes mit dem vorderen Brennpunkte des achsenametropischen Auges.

verschwindet, wenn der Brennpunkt der Konvexlinse in die Pupillarebene fällt.

Diesseits wie jenseits dieser Stellung, erscheint die Pupille als virtuelles oder reelles (umgekehrtes) Bild wieder, und nimmt rasch an Ausdehnung ab.

Die Beobachtung der Größe des Augenspiegelbildes und seiner Veränderungen ist um so leichter, je stärker die Vergrößerung ist. Mit derselben nimmt aber eben die Ausdehnung des Beobachtungsfeldes ab. Man hat also, bei der Wahl der Linse zu diesen Untersuchungen, die Weite der Pupille sowohl, als die Vergrößerung in den extremen Stellungen der Linse, zu berücksichtigen.

Nicht minder wichtig ist es, die Linse stets zur Achse des untersuchten Auges senkrecht zu halten, da deren Schiefstellung einen scheinbaren Astigmatismus hervorrufen würde.

Wir haben oben eine Reihe von Methoden erwähnt, welche gestatten, die Refraktion zu ermitteln durch die Entfernung, in welcher das umgekehrte Bild zu stande kommt. Ist die Refraktion in verschiedenen Meridianen verschieden, so muss die Einstellung dieser objektiven Optometer in den beiden Hauptmeridianen eine entsprechend verschiedene sein. So lässt sich auch mit diesen Instrumenten der Astigmatismus bestimmen, wenn anders die Bilder scharf genug sind, um die von demselben hervorgerufenen Deutlichkeitsunterschiede mit Sicherheit festzustellen.

Können auch die Netzhautgefäße, wenn sie gerade den Hauptmeridianen parallel verlaufen, oder die Umrisse des Sehnerveneintrittes, wenn sie scharf sind, wohl zur Bestimmung des Astigmatismus dienen, so giebt es doch eben nicht selten Fälle, wo diese Bedingungen nicht erfüllt sind, und uns ein zu dieser so delikaten Untersuchung geeignetes Objekt fehlt. Der Gedanke liegt deshalb nahe, das fehlende Objekt durch das im Augengrunde erzeugte Bild einer Strahlenfigur zu ersetzen. Da der Patient die verschiedenen Durchmesser derselben verschieden deutlich sieht, so muss auch der Beobachter den Unterschied in der Schärfe dieser Netzhautbilder wahrzunehmen, und damit den Astigmatismus zu bestimmen im stande sein. Wir haben denn auch, schon vor vielen Jahren, an einem, die Lichtquelle deckenden, matten Glase, einen von schwarzen Fäden durchkreuzten Ring angebracht, dessen Bild also mit dem der Lichtquelle gleichzeitig im Augengrunde zu stande kam. Um wenigstens einen Durchmesser des Bildes deutlich zu machen, muss allerdings das untersuchte Auge auf die Lichtquelle eingestellt sein. Dies gelingt mit vorgesetzten Gläsern, mit Verändern der Entfernung der Lichtquelle und Benutzung verschieden starker Konkavspiegel. Hat man so die Richtung und Refraktion des einen Meridianes festgestellt, so findet man die des anderen durch einfaches Aufsuchen des Glases, mit welchem der auf dem ersteren senkrechte Durchmesser deutlich wird.

W. Schön (84) giebt zu diesen Messungen einen Apparat an, den er folgendermaßen beschreibt: »Eine Lampe trägt einen Kasten, der an der einen schmalen Seite eine Linse vor einer Öffnung hat. Der Kasten ist drehbar nach oben, unten und den Seiten, doch bleibt die Flamme stets im Fokus der Linse. In einer Führung am Boden des Kastens läuft eine mit Maßteilung versehene 40 cm lange Schiene, deren Bewegung der Kasten folgen muss. Am Ende der Schiene befindet sich ein planer Augenspiegel, und auf der Schiene, 35 mm von dem Spiegel, eine Linse, die man nach Bedürfnis wechseln kann (8 bis 19 cm Bw.). Auf der Schiene sind ein horizontales und ein vertikales Gitter verschiebbar. Von diesen wird der Schatten in das Auge geworfen. Man verschiebt die Gitter, bis der Schatten möglichst deutlich ist. Kontrolliert wird durch Korrektionslinsen hinter dem Spiegel. Die Berechnung des Resultates ist sehr einfach.«

Eine große Fehlerquelle liegt bei diesen Versuchen darin, dass der sphärische Konkavspiegel, durch seine, zur Reflexion des Beleuchtungslichtes nötige Schiefstellung, eine cylindrische Wirkung erhält, und da Astigmatismus vortäuscht, wo in Wirklichkeit keiner besteht. Um diesen Nachteil zu vermeiden, müsste man einen sphärisch-cylindrischen Konkavspiegel verwenden, und dessen Neigung zur Lichtquelle sowohl als zum untersuchten Auge unverändert lassen. Da der Planspiegel geringere Lichtstärke besitzt, müsste man bei dessen Benutzung die Intensität der Lichtquelle erhöhen, und zur Adaptation des untersuchten Auges auf die Entfernung derselben, die entsprechenden Gläser verwenden.

Die Erfüllung aller dieser Bedingungen ist nicht sehr leicht, da eben die verwendeten Gläser alle zur Sehlinie des beobachteten Auges senkrecht stehen müssen, wenn die Untersuchung ein brauchbares Resultat geben soll. Und da uns zur objektiven Bestimmung des Astigmatismus einfacherere und sicherere Methoden zu Gebote stehen, so haben wir unsere Versuche in dieser Richtung nicht fortgesetzt.

Das Objekt (Fig. 125 A), dessen umgekehrtes Bild Schmidt-Rimpler zur Optometrie benutzt, hat eine Form, an welcher astigmatische Refraktion sehr deutlich zu Tage treten muss. Es ließe sich überhaupt leicht durch jedes beliebige, zu diesem Zwecke dienliche Sehzeichen ersetzen. Aber auch hier gilt, was wir eben von der Gefahr eines, durch Schiefstellung des Katopters oder Diopters, vorgetäuschten Astigmatismus gesagt haben.

Dem elektrischen Augenspiegel dürfte es vorbehalten sein, die Beobachtung des auf dem Augengrunde erzeugten Bildes, zu sicherer Bestimmung des Astigmatismus zu verwerten.

Die Parallaxe, d. h. die Scheinbewegung, welche die im aufrechten Bilde beobachteten Objekte des Augengrundes, bei Bewegung des Kopfes des Beobachters, im umgekehrten Bilde, bei Bewegung der Linse annehmen, kann ebenfalls zur Diagnose des Astigmatismus dienen. Die erstere allerdings

nur in seltenen Fällen, d. h. wenn der Astigmatismus so hochgradig ist, dass er zu einer merklichen Verschiedenheit in der Geschwindigkeit der scheinbaren Exkursionen, in verschiedenen Richtungen Veranlassung giebt.

Wir erinnern uns daran, dass die Parallaxe des aufrechten Bildes um so stärker ist, je geringer der Grad der Ametropie ist. Unübersehbar ist der Unterschied derselben, wenn in einem Meridiane Hypermetropie, Emmetropie oder schwache Myopie, im anderen so starke Myopie besteht, dass der Beobachter, aus einer gewissen Entfernung, das aufrechte Bild des einen, das umgekehrte des anderen Meridianes vor sich hat. Bewegt er dann seinen Kopf, so scheinen die durch den ersteren gesehenen Objekte in gleicher, die durch den letzteren gesehenen, in entgegengesetzter Richtung zu gleiten. Doch dies ist ein seltener Fall.

Bessere Dienste leistet die Parallaxe des umgekehrten Bildes. Verschiebt man die Konvexlinse in verschiedenen Richtungen, und findet, dass das Bild sich nicht in allen Richtungen gleich rasch bewegt, so darf man auf Astigmatismus schließen, und zwar entsprechen die Hauptmeridiane selbstredend den Richtungen der geringsten und der ausgiebigsten Exkursion des Bildes.

Gleichstark wie die der Linse, ist die scheinbare Verschiebung bei Emmetropie, geringer ist sie bei Hypermetropie, größer bei Myopie, und zwar tritt der Unterschied um so deutlicher hervor, je höher der Grad der Ametropie, und je größer das umgekehrte Bild ist. Es ist deshalb geraten, zu diesem Versuche eine nicht sehr starke Linse, z. B. Konvex 13, zu verwenden. Ein darauf eingeritztes, oder mit Tinte markiertes Kreuz, erleichtert die Beobachtung, wie wir schon oben bemerkt haben.

Die Bestimmung des Astigmatismus mittelst der Skiaskopie oder Koroskopie.

§ 79. Das Vorhandensein von Astigmatismus verrät sich, bei einfacher Beleuchtung des Auges aus einer gewissen Entfernung, einmal dadurch, dass die oben erwähnten, sogenannten skiaskopischen, oder koroskopischen Erscheinungen nicht in allen Meridianen gleichartig zu Tage treten, namentlich aber dadurch, dass die Kontur des Lichtbildes nur in zwei Richtungen der Drehungsrichtung des Spiegels parallel ist, in allen anderen aber dazu schief steht. Dies ist umsomehr der Fall, je weiter die Drehungsachse des Spiegels, resp. die Laufbahn des Reflexes, von der Richtung der Hauptmeridiane verschieden ist.

Aber auch wenn sich der Spiegel zufällig im Sinne eines der Hauptmeridiane dreht, d. h. auch wenn keine Verzerrung des Lichtbildes stattfindet, sondern sich dasselbe dem Reflexe parallel bewegt, auch in diesem Falle, lässt sich das Vorhandensein von Astigmatismus nicht unschwer

erkennen. Man braucht nur den Spiegel successive in den zwei aufeinander senkrechten Richtungen zu drehen, dann wird, bei Astigmatismus, einmal die Deutlichkeit der Kontur des Flammenbildes in den beiden Richtungen verschieden sein, namentlich aber wird sich dasselbe in der einen Richtung rascher bewegen, als in der anderen; oder gar, in den beiden Richtungen, in entgegengesetztem Sinne laufen. Letzteres ist der Fall, wenn der Einstellungspunkt des einen Hauptmeridianes vor, der des anderen hinter den Kopf des Beobachters fällt.

Es ist also, bei jeder skiaskopischen Untersuchung, geraten, den Spiegel nicht nur um eine, sondern abwechselnd um zwei aufeinander senkrechte Achsen zu drehen, sonst könnte einem der Astigmatismus leicht entgehen. Sehr empfehlenswert ist es auch, sich zu diesen Beobachtungen nicht nur einer gewöhnlichen Flamme, sondern einer quadratischen Lichtquelle zu bedienen, wie sie z. B. unsere oben beschriebene Vorrichtung liefert.

Gute Dienste leistet dabei auch der Spiegel von Dr. Hegg in Bern, der, in zwei Ringen aufgehängt, sich, bei gleichbleibender Stellung des Griffes, leicht um zwei aufeinander senkrechte Achsen drehen lässt.

Ist einmal die Richtung der Hauptmeridiane gefunden, so bestimmt man, in einer der oben angegebenen Weisen, die Refraktion erst des einen, sodann die des anderen derselben, mittelst vorgesetzter sphärischer Gläser; oder, ist die Refraktion des einen Meridianes gefunden, so lässt man das entsprechende sphärische Korrektionsglas vor dem untersuchten Auge stehen, und bestimmt die des anderen mit zu seiner Richtung senkrechten Cylindergläsern. Die letzteren müssen selbstredend konkav sein, wenn der erst korrigierte Meridian der schwächer brechende ist, konvex, wenn man den stärker brechenden, durch ein sphärisches Glas korrigiert hat.

Bestimmung des Astigmatismus mittelst der Messung der brechenden Flächen des Auges.

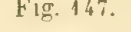
In dem Abschnitte der Ophthalmometrie haben wir gesehen, dass sich die Krümmung der brechenden Flächen des Auges direkt messen lässt. Da der Astigmatismus auf einer Krümmungsanomalie dieser Flächen beruht, so sollte er sich auch ophthalmometrisch bestimmen lassen. Nun haben wir aber auch gesehen, dass die Messung der Krümmung der Hornhaut zwar leicht, diejenige der vorderen und der hinteren Linsenfläche dagegen mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden ist. Diese letzteren darf man aber nicht vernachlässigen, wenn man den gesamten Astigmatismus des Auges kennen will, und der allein hat praktische Bedeutung.

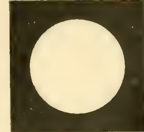
Doch, selbst wenn man die Refraktion der verschiedenen Meridiane der Linse kennen würde, so wäre das Resultat ihrer, mit der der Hornhaut kombinierten Wirkung, sehr schwer zu berechnen, einmal, weil, bei

Hornhaut- und Linsenastigmatismus, die Hauptmeridiane oft zu einander schief stehen, sodann weil die brechenden Flächen oft genug nicht einmal untereinander, jedenfalls nicht in Bezug auf die Gesichtslinie des Auges, centriert sind. Und der Gesamtastigmatismus des Auges in dieser Achse ist gerade, was wir zu kennen wünschen. Daraus geht hervor, dass die ophthalmometrische Bestimmung des Astigmatismus nicht im stande sein kann, ein der subjektiven Methode gleichwertiges Resultat zu liefern. Nichtsdestoweniger leistet uns die Kenntnis der Hornhautkrümmung (auf die der Linsenkrümmungen müssen wir in der Praxis verzichten), bei der Bestimmung des Astigmatismus, doch gelegentlich ganz gute Dienste. Da nämlich die Hornhautoberfläche zwei Medien voneinander trennt (Luft und Hornhautsubstanz mit Humor aqueus), zwischen deren Brechungsindex ein viel größerer Unterschied besteht als zwischen Humor aqueus (resp. vitreus) und Linsensubstanz, welche durch die Linsenoberflächen voneinander getrennt sind, so hat sie, trotz ihrer relativ geringen Krümmung, auf den Gang der Lichtstrahlen im Auge einen bedeutenderen Einfluss, als die hinter ihr liegenden brechenden Flächen.

Die Hornhaut trägt denn auch, im linsenhaltigen Auge schon, am meisten zur Erzeugung des Astigmatismus bei. Im linsenlosen, ist sie sogar dessen einziger Faktor. Das Studium ihrer Form hat also, bei der Bestimmung des Astigmatismus, seine volle Berechtigung.

Schon in den siebziger Jahren, hatten wir deshalb, an dem hinter unserem Rücken, dem Patienten gegenüber liegenden Fenster, auf gleicher Höhe mit dessen Augen, ein schwarzes Quadrat mit einem kreisförmigen Ausschnitte angebracht (Fig. 147). Der Reflex dieser beiden Figuren auf der Hornhaut des Patienten gab, schon beim ersten Blick, gewisse Anhaltspunkte über vorhandene Krümmungsanomalien der Hornhaut.


Fig. 147.



Bei regelmäßigem Astigmatismus, ließ sich sogar die Richtung der Hauptmeridiane, sowie die stärkere oder schwächere Krümmung derselben, aus der Form des Reflexbildes, ohne Mühe erkennen.

Placido (99) hat dies Prinzip zu einem ganz hübschen Instrumente verwertet, dem er den Namen »Keratoskop« gegeben hat. Dasselbe besteht aus einer, von einer Handhabe getragenen, kreisrunden Scheibe von 23 cm Durchmesser. Die dem Beobachter zugewendete Seite derselben ist schwarz, die dem Patienten zugewendete trägt eine Serie, abwechselnd schwarzer und weißer, mit der Scheibe koncentrischer Kreise. In das Centrum der Scheibe ist ein 3 cm langer, zu derselben senkrechter, hohler Cylinder eingefügt.

Der Patient wird mit dem Rücken dem Fenster zugekehrt. Der Beobachter nimmt vor ihm Platz, so dass sein Auge mit dem des Patienten

auf gleicher Höhe steht. Dann betrachtet er, durch die centrale Durchbohrung des Instrumentes, das Reflexbild der Ringe auf der untersuchten Hornhaut. Damit das Centrum der Scheibe in die Gesichtslinie des Patienten zu liegen komme, lässt man den letzteren in die Durchbohrung derselben blicken. Nicht minder wichtig ist es, dass die Scheibe zu den, in der Achse zusammenfallenden Gesichtslinien des Beobachters und des Beobachteten, senkrecht stehe. Um dies zu bewerkstelligen, richtet der Beobachter sein Augenmerk, auf die wenn auch undeutlichen Bilder, die er von der vorderen und von der hinteren Öffnung der centralen Röhre bekommt, und hält die Scheibe so, dass die beiden Bilder ihm genau kreisrund und koncentrisch erscheinen.

In ganz ähnlicher Weise haben de Wecker und Masselon (103) ein »Astigmometer« konstruiert. Statt einer kreisförmigen, haben sie eine quadratische Scheibe gewählt. Dieselbe ist schwarz, von einem 15 mm breiten weißen Saume umrahmt, und in der Mitte durchbohrt. Während die eine Hand den die Scheibe tragenden Stiel hält, dreht die andere die Scheibe, bis die Seiten des Quadrates den Hauptmeridianen der astigmatischen Cornea parallel sind. Die Richtung derselben lässt sich auf der Rückseite des Instrumentes ablesen.

Um den Grad des Astigmatismus zu schätzen, ist dem Instrumente eine Skala beigegeben, welche, außer einem Quadrate, nur gleichlange, aber verschieden hohe Rechtecke enthält. Sie entsprechen den Reflexbildern, welche Hornhäute von 0 bis 10 D. Astigmatismus, von dem quadratischen Objekte liefern, wenn dasselbe 20 cm vom Auge entfernt ist. Neben das beobachtende Auge gehalten, dienen sie zur Vergleichung mit dem jeweilen erhaltenen Reflexbilde. Eine dem Instrumente beigegebene Lupe soll die Beobachtung erleichtern.

Später haben die beiden Autoren ihr Instrument in der Weise modifiziert (137), dass zwei gegenüberliegende Seiten des quadratischen Objektes einander, durch eine Schraubenvorrichtung, genähert, resp. voneinander entfernt werden können. Dies geschieht so lange, bis das Reflexbild, trotz der astigmatischen Form der Hornhaut, als Quadrat erscheint. Ein Maßstab giebt die Zahl der Dioptrien an, welche der Einstellung des Objektes entspricht. — Außerdem sind, in einer Halbierungslinie der Scheibe, farbige Marken angebracht, zur Durchmusterung der excentrischen Hornhautteile, wenn es sich um die Wahl der Stelle zu einer künstlichen Pupille handelt.

Alle diese Keratometer haben sehr an Bedeutung verloren, seit Javal, Schiötz u. a., nach dem Prinzipe des Helmholtz'schen Ophthalmometers gebaute Instrumente zur Messung der Hornhautkrümmung konstruiert haben. Dieselben geben viel genauere Resultate, als die einfachen in der Hand getragenen Scheiben. Und, hat ohnehin die Kenntnis der Hornhautkrümmung, bei der Bestimmung des Astigmatismus, eine nur untergeordnete

Bedeutung, so kann sie auch diese nur dann beanspruchen, wenn sie wenigstens genau ist.

Der Leser hat die Beschreibung und Handhabung dieser Keratometer schon in dem Abschnitte der Ophthalmometrie gefunden.

Noch genauer und anschaulicher, als es mit Keratometer und Ophthalmometer möglich ist, hat A. Gullstrand die Form der Hornhautoberfläche, mittelst der Photographie ihrer Reflexbilder, studiert. Als Objekt dient ihm eine Figur mit koncentrischen Doppelkreisen, wobei auf der photographischen Platte mit einer Teilmaschine gemessen wird. Für klinische Untersuchungen aber, sowie für photographische Demonstrationen, verwendet er die nebenstehenden (Fig. 148), in verkleinertem Maßstabe wiedergegebenen Figuren, welche sich, auf der normal gekrümmten Oberfläche, als geradlinig begrenzte Quadrate abbilden, während die Verzerrungen, welche die Figuren eingehen, die Unregelmäßigkeiten der Hornhaut in äußerst plastischer Weise darthun.

Fig. 148.



Der Autor hat auf diese Weise nicht nur den Astigmatismus der Hornhaut, sondern auch ihre Asymmetrie, in ihren verschiedenen Teilen gemessen, und die Bedeutung, welche dieser optische Fehler in der Praxis gewinnen kann, in klarer und wissenschaftlicher Weise hervorgehoben.

A. Gullstrand bediente sich außerdem, zur Bestimmung des Hornhautastigmatismus, der Denivellierung der Reflexbilder der Hornhaut. Eine Brücke'sche Lupe, in deren Objektiv sich ein verdoppelndes Prisma befindet, wird 72 mm vor der Hornhaut aufgestellt. Auf derselben spiegeln sich zwei, durch den Durchmesser des Objektives getrennte Rechtecke. Sie lassen sich, auf einer Scheibe, um die Achse des Fernrohres drehen.

Erst sucht man einen der Hauptmeridiane auf, dann dreht man das Fernrohr mit der Scheibe um 45°, in welcher Stellung die Denivellierung am stärksten ist. — Darauf dreht man die Scheibe mit den Rechtecken allein, bis die Denivellierung wieder Null ist, und liest den Grad des Astigmatismus auf einer Skala ab (136a).

Bestimmung der Akkommodation oder der dynamischen Refraktion des Auges.

§ 80. Unter Akkommodation verstehen wir, im Gegensatze zu der statischen, d. h. der Refraktion des Auges im Ruhezustande, die dynamische Refraktion, d. h. die Refraktion, welche sich das Auge mittelst der Kontraktion seines Ciliarmuskels, resp. stärkerer Wölbung seiner Linse,

zulegt. Es giebt, in der That, keine negative, nur eine positive Akkommodation, die Brechkraft des Auges nimmt, unter dem Einflusse der dynamischen Refraktion, immer zu.

Aus der Definition folgt, dass, wie wir die statische Refraktion nur mit Ausschluss, oder doch wenigstens mit Berücksichtigung der bei der Untersuchung aufgewandten dynamischen Refraktion bestimmen konnten, wir auch die Akkommodation eines Auges nur dann bestimmen können, wenn wir dessen statische Refraktion kennen.

Die Frage: Wie viel Akkommodation braucht ein Auge, um auf $1/3$ m deutlich zu sehen, lässt sich nicht beantworten, es sei denn dass dessen statische Refraktion bekannt sei.

Ein auf $1/3$ m eingestelltes Auge hat eine Refraktion von 3 D. Wieviel davon auf Rechnung der Akkommodation kommt, wissen wir erst, wenn wir dessen Refraktion im Zustande der Ruhe kennen. Ist dieselbe $= + 1$ D., d. h. besteht eine Myopie von 1 D., so kommt eben eine Dioptrie der drei auf Rechnung der statischen Refraktion, während die zwei übrigen von der dynamischen, der Akkommodation, geliefert werden.

Ist die statische Refraktion $= 0$, d. h. besteht Emmetropie, so ist die ganze Adaptation des Auges für die Nähe, 3 Dioptrien in unserem Beispiele, von der Akkommodation aufgebracht worden.

Ist die statische Refraktion negativ, z. B. $- 1$, d. h. besteht Hyperopie von einer Dioptrie, so hat, zum deutlichen Sehen in $1/3$ m, die Akkommodation, außer den drei geforderten Dioptrien, auch noch die Korrektion der Hypermetropie, in unserem Beispiele 1 D., d. h. im ganzen $3 + 1 = 4$ D. aufzubringen.

Mit einem Wort: die Einstellung für die Nähe (n) kann als aus statischer (s) und dynamischer (d) Refraktion zusammengesetzt angesehen werden.

$$n = s + d.$$

Kennen wir jeweilen zwei Größen dieser Formel, so können wir daraus die dritte ableiten.

Handelt es sich z. B. um die Ableitung der dynamischen Refraktion, resp. der Akkommodation, so werden wir setzen:

$$d = n - s.$$

s ist bei Myopie positiv, bei Emmetropie Null, bei Hyperopie negativ; also wird in letzterem Falle die Formel wie folgt:

$$d = n - (-s) = n + s.$$

Dieser Aufgabe begegnet man in der Praxis häufiger, als man es sich gewöhnlich vorstellt, d. h. jedesmal wenn es sich darum handelt, einem Auge das Arbeiten in der Nähe zu ermöglichen. Wir werden diese Frage in der Folge auch zu beantworten suchen. Vor der Hand aber gilt es, sich über

die Gesamtheit der dynamischen Refraktion oder Akkommodation eines Auges, über dessen »Akkommodationsbreite« Rechenschaft zu geben.

Da, dank derselben, das Auge die stärkste Brechkraft annimmt, deren es fähig ist, so ist es offenbar, im Zustande höchster Akkommodationsanstrengung, auf den nächsten Punkt eingestellt, von dem es ein deutliches Netzhautbild erlangen kann.

Bezeichnen wir mit p die Refraktion des Auges bei Einstellung auf dieses Punctum proximum, mit r, wie früher schon, die Refraktion bei Einstellung auf sein Punctum remotum, den Punkt, auf den es im Zustande der Ruhe eingestellt ist, so stellt offenbar die Akkommodationsbreite (a) den Unterschied zwischen diesen beiden Refraktionen dar, verwandelt sie doch die Einstellung für den fernsten in Einstellung für den nächsten Punkt. Wir schreiben also:

$$a = p - r\text{[1]},$$

worin a, p und r eine gewisse Zahl von Dioptrien bedeuten.

Dies ist die Gestalt, welche ich, bei der Einführung des Dioptriensystems, der Formel für die Akkommodationsbreite gegeben habe (68). Sie drängte sich von selbst auf, von dem Augenblicke an, da wir mit Brechkräften, statt mit Brennweiten, zu rechnen uns entschlossen. Nichtsdestoweniger ist es angezeigt, und unseren Zwecken dienlich, auch die ursprüngliche Form des Ausdruckes für die Akkommodationsbreite kennen zu lernen.

Wir erinnern uns dabei an das, was wir, eingangs der Dioptometrie, über den Ausdruck der Refraktion des Auges im allgemeinen gesagt haben. Wir zeigten, dass dieselbe umgekehrt proportional ist der Entfernung, für welche das Auge eingestellt ist.

Ist P die Entfernung des Nahepunktes P vom Auge, so ist die maximale Refraktion des Auges $= \frac{1}{\mathrm{P}}$.

Ist R die Entfernung des Fernpunktes R, so ist die minimale Refraktion des Auges $= \frac{1}{\mathrm{R}}$.

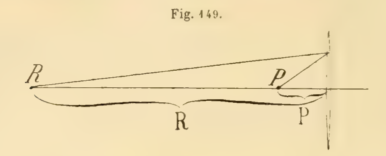
Die Differenz zwischen beiden, die Akkommodationsbreite, wird also ausgedrückt durch die Gleichung:

$$\frac{1}{\mathrm{A}} = \frac{1}{\mathrm{P}} - \frac{1}{\mathrm{R}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(1a.}$$

[1] Die Formel ist identisch mit der vorhergehenden. Was wir dort allgemein Einstellung für die Nähe n genannt haben, bezeichnen wir hier mit p, während a dem obigen d, r dem s entspricht.

Warum $\frac{1}{A}$? — Weil die Akkommodationsbreite betrachtet wird als eine Linse, welche sich das Auge durch maximale Akkommodationsanstrengung zulegt, und, wenn man sich nicht der Brechkraft (Dioptrie) zur Bezeichnung einer Linse bedient, so wird dieselbe eben ausgedrückt durch den reciproken Wert ihrer Brennweite.

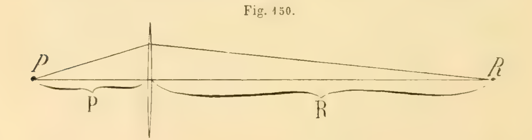
Fig. 149.



A, in obiger Formel, ist in der That die Brennweite einer Linse, welche die Einstellung des Auges auf den Fernpunkt R (Fig. 149) in Einstellung auf den Nahepunkt P verwandelt, oder, welche den vom Nahepunkt ausgehenden Strahlen die Richtung giebt, als kämen sie vom Fernpunkt her.

Wer sich der elementaren Linsenformel, resp. des Gesetzes der konjugierten Brennweiten erinnert $\left(\frac{1}{F} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y}\right)$, der wird die Übereinstimmung derselben mit der Formel für die Akkommodationsbreite sofort erkennen. Warum ist nur, in unserem Falle, das dritte Glied der Formel $\left(\frac{1}{R}\right)$ negativ? — Einfach weil, wie Fig. 149 zeigt, die beiden Punkte R und P auf derselben Seite der Linse gedacht sind. Steht R auf der entgegengesetzten Seite (Fig. 150), wie dies der Fall ist, wenn, bei Hyper-

Fig. 150.



metropie, der Nahepunkt in positiver Entfernung, d. h. vor dem Auge, liegt, so wird, wie wir oben schon gesehen haben, das dritte Glied der Formel auch positiv:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R}.$$

Ist R unendlich, wie bei Emmetropie, so wird

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\infty} = 0,$$

also

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

Nimmt nun auch, mit der Akkommodation, die Brechkraft des Auges immer zu, so kann es doch auch vorkommen, dass der Nahepunkt in Unendlich, ja über Unendlich hinaus, in negativer Entfernung liegt. Dieser letzte Fall kann nur bei Hypermetropie eintreten. — Die Berechnung der Akkommodationsbreite ist deshalb nicht weniger einfach. Die beiden Ausdrücke werden nur mit negativen Vorzeichen in die Grundformel (1) eingeführt, und so erhalten wir, für den Fall negativer Lage des Fern- wie des Nahepunktes, den Ausdruck:

$$\frac{1}{A} = -\frac{1}{P} - \left(-\frac{1}{R}\right) = \frac{1}{R} - \frac{1}{P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3a)$$

Wir können uns die Sache auch in folgender Weise vorstellen: Die Hypermetropie lässt sich vergleichen mit einem negativen Glase $\left(-\frac{1}{R}\right)$, das um so stärker ist, je höher der Grad der Hypermetropie ist. Dank der Akkommodation, nimmt, im obigen Beispiele, die Hypermetropie zwar ab, jedoch ohne in Emmetropie, oder gar in Einstellung für die Nähe überzugehen. Der Brechzustand des Auges bleibt negativ $\left(-\frac{1}{P}\right)$. Doch ist das entsprechende Konkavglas schwächer, als das die Hypermetopie darstellende. Es muss also von dem letzteren abgezogen werden, wenn der durch die Akkommodation herbeigeführte Refraktionsunterschied berechnet werden soll.

Überhaupt, liegen R und P auf der gleichen Seite, so haben die entsprechenden Ausdrücke, in der Formel für die Akkommodationsbreite, ungleiches Vorzeichen, und zwar: liegen sie vor dem Auge (Myopie), so ist $\frac{1}{P}$ oder p positiv, $\frac{1}{R}$ oder r negativ:

$$a = p - r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1b)$$

Liegen beide hinter dem Auge (Hypermetropie), so ist $\frac{1}{P}$ oder p negativ, $\frac{1}{R}$ oder r positiv:

$$a = r - p.$$

Liegt P vor, R hinter dem Auge (ebenfalls Hypermetropie), so sind beide positiv:

$$a = p + r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3b)$$

Ist R unendlich (Emmetropie), so wird $\frac{1}{R}$ oder $r = 0$ und

$$a = p. \qquad (2b)$$

Zur Bestimmung der Akkommodationsbreite, müssen wir also einmal die Entfernung des Nahepunktes, sodann die des Fernpunktes vom Auge kennen. Selbstverständlich werden dieselben vom gleichen Punkte des Auges ab gerechnet. Dazu haben wir, aus früher erörterten Gründen, den ersten, resp. den vereinigten Hauptpunkt des Auges gewählt.

Messen wir diese Abstände mit Zollen, Centimetern, oder irgend welchem beliebigen Maße, so müssen wir uns, zur Berechnung der Akkommodationsbreite, der Formel $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$ bedienen. — Messen wir sie mit dem Meter, so erhalten wir, für die drei Glieder der Formel, sogleich die entsprechenden Werte in Dioptrien:

$$a = p - r.$$

Es sei der Nahepunkt z. B. gelegen in 11 cm, der Fernpunkt in der positiven Entfernung von 50 cm, so ist die Akkommodationsbreite:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{11} - \frac{1}{50} = \frac{39}{550} = \frac{1}{14},$$

oder, da 11 cm = $^1/_9$ m und 50 cm = $^1/_2$ m:

$$a = 9 - 2 = 7 \text{ D}.$$

Mit anderen Worten: Sieht ein Myope von 2 D. bis auf 11 cm deutlich, d. h. bringt er seinen Brechzustand bis auf 9 D., so hat er eine Akkommodationsbreite von 7 D.

Wir haben der Berechnung der Akkommodationsbreite schon so viel Raum gewidmet, dass wir uns weitere Beispiele wohl ersparen dürfen. Wenden wir uns nun zur praktischen Bestimmung der dynamischen Refraktion des Auges.

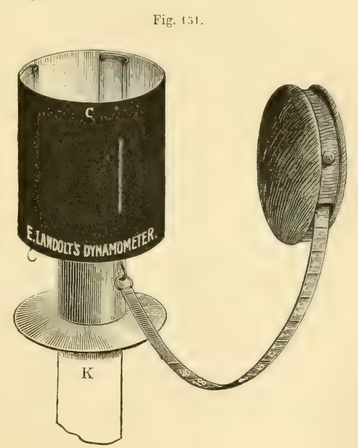
§ 81. Da die Akkommodation ein Akt ist, den das Auge, im Interesse des deutlichen Sehens in der Nähe, mehr oder weniger willkürlich ausführt, so können wir nicht hoffen, zu deren Bestimmung objektive Methoden zu finden, wie bei der Bestimmung der statischen Refraktion, wo wir das Auge, mittelst der Mydriatica, sogar gewaltsam in den erforderlichen Zustand der Ruhe bringen konnten.

Bei der Bestimmung der dynamischen Refraktion gilt es, im Gegenteil, alles aufzubieten, um den guten Willen des Untersuchten, seinen Trieb, möglichst nahe deutlich zu sehen, und damit die Kontraktion seines Ciliarmuskels, aufs höchste anzuspornen. — Dies ist übrigens auch der Hauptzweck der Untersuchung. Es ist uns nicht darum zu thun, zu wissen, wie

weit Miotica, die allerdings die Akkommodation in Thätigkeit versetzen, den Brechzustand des Auges zu erhöhen im stande sind, sondern wir wollen, im Interesse der Praxis, wissen, wie weit der Patient dies mit seinen eigenen Kräften allein zu thun im stande ist. Wir wollen dessen natürlichen, nicht dessen künstlichen Nahepunkt kennen lernen, und daraus, mit Hilfe der statischen Refraktion, die dynamische, mit anderen Worten die normale **Akkommodationsbreite**, ableiten.

Die einfachste, und natürlichste Methode der Bestimmung des Nahepunktes besteht denn auch darin, dem zu untersuchenden Auge, bei Ausschluss des anderen, feine Objekte allmählich anzunähern, bis es aufhört, dieselben deutlich zu sehen. — Astigmatismus, wenigstens höheren Grades, thut man gut dabei zu korrigieren.

Fig. 151.



Die Feinheit der Prüfungsobjekte muss allerdings in einem gewissen Verhältnisse stehen zur Sehschärfe des Patienten. Bei Leuten, die im stande sind, gewöhnlichen Druck zu lesen, kann man möglichst feine Buchstaben, Ziffern, Gruppen von Punkten und Strichen verwenden, bei Leuten mit ganz besonders guter Sehschärfe, Spinnwebfäden, während schwaches Sehvermögen größeren Druck, besser noch Objekte erheischt, die zwar relativ klein sind, aber vermöge der großen Helligkeit, mit welcher sie von einem dunklen Grunde abstechen, dem Patienten es doch ermöglichen, anzugeben, wann sie ihm in größter Schärfe erscheinen.

So haben wir, in dem von innen durch die Kerze K (Fig. 151) beleuchteten Cylinder C unseres Ophthalmodynamometers (119 unter anderem eine, von mattem Glase bedeckte, und von hinten beleuchtete Reihe von feinen Löchern angebracht. Sobald das Auge nicht mehr scharf

darauf eingestellt ist, berühren sich die Zerstreuungsbilder der leuchtenden Punkte und verschmelzen in einen etwas breiteren Lichtstreif.

Dem Instrumente ist, für Personen mit guter Sehschärfe, ein von einem Griffe für den Beobachter getragenes Rähmchen beigegeben, in welches die durch auffallendes Licht zu beleuchtenden Objekte eingeführt werden. An diesen Handgriff sowohl als an das Kamin des Dynamometers, wird ein mit Federkraft aufrollbares Band befestigt. Dasselbe ist, auf der einen Seite in Centimeter, auf der anderen in die entsprechenden reciproken Werte, d. h. in Dioptrien geteilt. Der Nullpunkt der Einteilung entspricht dem Fixierobjekte. Dasselbe wird, bei ausgezogenem Bande, dem Auge genähert, bis es aufhört, deutlich gesehen zu werden. Seine Entfernung von der Hornhaut, besser die entsprechende Refraktion, lässt sich dann direkt an dem Bande ablesen. Es ist dies unser obiges p.

Um die Akkommodationsbreite zu finden, muss davon r, d. h. die die statische Refraktion darstellende Dioptrienzahl, abgezogen werden, wenn es sich um Myopie (r positiv) handelt, während die dem Grade der Hypermetropie (r negativ) entsprechende Zahl der Dioptrien, dem p zugezählt werden muss.

Nur bei Emmetropie ergiebt das in obiger Weise gefundene p auch gleich die Akkommodationsbreite.

Dieselbe Vereinfachung lässt sich aber auch bei Ametropie dadurch erzielen, dass man die Bestimmung der dynamischen Refraktion, unter Beibehaltung des die statische Refraktion korrigierenden Glases, vornimmt. Dadurch wird der Ametrope zum Emmetropen, und $a = p$.

Hilfsgläser sind bei der Bestimmung der Akkommodationsbreite überhaupt häufig angezeigt. Einmal sind sie unerlässlich da, wo der Nahepunkt in negativer, oder doch wenigstens zu großer endlicher Entfernung (z. B. über 50 cm hinaus) gelegen ist. In solchen Fällen setzen wir dem Auge ein Konvexglas vor, das den Nahepunkt in einen Abstand von 25 bis 40 cm bringt. Selbstverständlich muss der Wert dieses Glases dann von dem gefundenen p abgezogen werden. Z. B.: Einem Hypermetropen von 4 D., mit einem Akkommodationsvermögen von 2,5 D., bleibt, trotz stärkster Anspannung seines Ciliarmuskels, immer noch eine Hypermetropie, ein Refraktionsdefekt von 1,5 D. Es ist also keine Rede davon, dass er, mit bloßem Auge, in auch noch so großer endlicher Entfernung deutlich sehen könnte. Setzen wir ihm Konvex 5 vor, so füllen wir einmal diese Lücke von 1,5 D. aus, und bringen außerdem seinen Nahepunkt auf $\frac{1\text{ m}}{3,5}$. Sein p wird $= 3,5$ D.

In der That, ein Hypermetrope von 4 D., der mit $+ 5$ in $\frac{1\text{ m}}{3,5}$ sieht, resp. 3,5 D. positive Refraktion aufweist, muss eine Akkommodationsbreite von $4 + 3,5 - 5 = 7,5 - 5 = 2,5$ D. haben.

Aber auch bei Myopie, wo sich r wie p theoretisch direkt bestimmen lassen, kann es angezeigt sein, Hilfsgläser zur Bestimmung der Akkommodationsbreite zu verwenden. Nämlich wenn die Myopie so hochgradig ist, schon der Fernpunkt dem Auge so nahe liegt, dass eine Differenz von 1 cm, in der Bestimmung des Nahepunktes, einen bedeutenden Irrtum mit sich bringen müsste. Zwischen 7 und 11 cm liegen schon 4 D., zwischen 5 und 10 cm gar 10 D., während sich von 25 bis 50 cm die Refraktion nur um 2 D. ändert. Es ist deshalb geraten, in solchen Fällen, mittelst eines Konkavglases, den Nahepunkt auf ungefähr 30 cm, das p auf 3 oder 4 D. zu bringen. Auch hier ist nichts leichter, als das Hilfsglas in Rechnung zu bringen. Es muss dem gefundenen p zugezählt werden.

Haben wir es mit einem Myopen von 14 D. zu thun, und sieht er mit Konkav 12 in $\frac{1\,\text{m}}{3}$, d. h. ist sein p damit $= 3$ D., so ist seine Akkommodationsbreite

$$3 + 12 - 14 = 15 - 14 = 1 \text{ D.}$$

Das Konkavglas hat ihm nämlich noch 2 D. positiver, statischer Refraktion gelassen. Diese müssen von den 3 D., welche sein Auge im Zustande höchsten Akkommodationsaufwandes, und mit — 12 bewaffnet, darbietet, abgezogen werden.

Überhaupt ist es, im Interesse der Genauigkeit der Messung, angezeigt, den Nahepunkt mit konvexen oder konkaven Hilfsgläsern auf die oben angegebene, mittlere Entfernung zu bringen. So können auch Emmetropen mit sehr schwacher Akkommodation, konvexe Gläser verlangen, und kann bei Hyperopie Überkorrektion, bei Myopie unvollständige Korrektion der Ametropie, angezeigt sein. Immer muss das Konvexglas von dem gefundenen Resultate abgezogen, das Konkavglas demselben zugezählt werden.

Von größter Wichtigkeit aber ist es, das Hilfsglas dem Auge möglichst nahe, d. h. so nahe zu bringen, dass seine Entfernung vom Auge vernachlässigt werden kann.

Überlegt man, dass, durch sphärische Gläser, die Richtung der von einem Objekte ausgehenden Strahlen, in ähnlicher Weise wie durch Annähern des Objektes, modifiziert werden kann, so könnte man denken, es sollte sich die Akkommodationsbreite in noch einfacherer Weise bestimmen lassen, als mittelst des Dynamometers.

Ein Emmetrope z. B., der nach einem entfernten Objekte durch ein Konkavglas von 2 D. blickt, muss, um dasselbe deutlich zu sehen, eine Akkommodationsanstrengung von 2 D. machen, weil dies Glas die von Unendlich kommenden Strahlen so divergent macht, als kämen sie von $\frac{1\,\text{m}}{2}$, resp. 50 cm her. So sollte das stärkste Konkavglas, mit dem der Emmetrope noch deutlich in die Ferne sieht, seiner Akkommodationsbreite (a) entsprechen.

Für den Myopen würde ähnliches gelten: Ergiebt das schwächste Konkavglas, mit welchem er deutlich in die Ferne sieht, das Minimum seiner Refraktion (r), so sollte das stärkste Konkavglas das Maximum derselben (p), und die Differenz zwischen beiden seine Akkommodationsbreite (a) ergeben.

Auch bei einem Hypermetropen, der mittelst seiner Akkommodation noch in endliche Entfernung zu sehen, d. h. divergente Strahlen auf seiner Netzhaut zu vereinigen vermag, würde das stärkste Konkavglas das p ergeben, nur müsste, um a zu finden, sein r, d. h. die seine Ametropie ausdrückende Dioptrienzahl, dazugezählt werden: $a = p + r$.

Läge sein Nahepunkt in Unendlich, d. h. wäre er im stande, mit Aufwand aller seiner Akkommodationskraft, gerade noch deutlich in die Ferne zu sehen, mit anderen Worten, seine Ametropie zu korrigieren, so wäre seine dynamische Refraktion gleich seiner negativen statischen: $a = r$.

Läge dagegen der Nahepunkt des Hyperopen über Unendlich hinaus, nur weiter vom Auge ab als der Fernpunkt, so würde das schwächste Konvexglas, mit welchem er deutlich in die Ferne sieht, sein Refraktionsmaximum (p) ergeben, wie das stärkste Konvexglas seinem Refraktionsminimum (r) entspricht, und aus der Subtraktion des p von r seine Akkommodationsbreite folgen: $a = r - p$.

Auf diese Weise, könnte man denken, sollten sich statische und dynamische Refraktion unter gleichen Verhältnissen, mit denselben Gerätschaften, bestimmen lassen. Das mag unter gewissen, ausnahmsweisen Verhältnissen, z. B. gerade bei hochgradigen Hyperopen, angehen. Im ganzen aber scheint mir diese Methode der Akkommodationsbestimmung durchaus nicht empfehlenswert. Ich habe die Gründe dafür schon in meinem Werke über Refraktion und Akkommodation auseinandergesetzt: Wie oben bemerkt, müssen wir, um von dem Patienten den höchsten Grad der Akkommodationsanstrengung zu erlangen, alles thun, um diese Funktion anzuregen. Dazu gehört nun in erster Linie das Bewusstsein, es handle sich um das deutliche Sehen eines Objektes, welches sich dem Auge nähert. Verlegen wir doch umgekehrt, um die Akkommodation möglichst a u s z u s c h l i e ß e n, unsere Sehzeichen, zur Bestimmung der s t a t i s c h e n Refraktion, in große F e r n e. Wie können wir daran denken, sie dort zu lassen, wenn es sich im Gegenteil, um möglichstes Anspornen der Akkommodation handelt? Meine Untersuchungen haben denn auch bewiesen, dass die auf große Entfernung, mit Konkavgläsern gefundene, scheinbare Akkommodationsbreite, der wirklichen in der größten Mehrzahl der Fälle nachsteht.

Konkavgläser verkleinern außerdem die Netzhautbilder bedeutend, so dass es oft unmöglich ist, zu ermitteln, ob der Untersuchte, wegen Kleinheit, oder wegen Undeutlichkeit der Netzhautbilder aufhört deutlich zu sehen.

Sodann kommt, bei hochgradiger Myopie, die Entfernung der Gläser vom Auge sehr in Betracht. Nehmen wir z. B. ein Auge mit einer Myopie von 13 D. — Sein Fernpunkt liegt 77 mm vor seiner Hornhaut (R = 77). Steht das Korrektionsglas, wie gewöhnlich, 13 mm vor der Hornhaut, so braucht es eine Brennweite von 77 — 13 = 64 mm, eine Brechkraft von $\frac{1000}{64} = 15{,}6$ D.

Besitzt das Auge eine Akkommodationsbreite von 7 D., so kann es damit seinen Brechzustand auf 13 + 7 = 20 D. erhöhen. Dies ist sein p, welchem eine Entfernung (P) des Nahepunktes von der Hornhaut von 50 mm entspricht. Das Konkavglas, welches 13 mm vor der Hornhaut ein solches Auge auf Unendlich einstellt, muss also 50 — 13 = 37 mm Brennweite, d. h. 27 D. Brechkraft haben. Würde man dies Glas mit p, das Korrektionsglas für die Ferne mit r identifizieren, so ergäbe sich für die Akkommodationsbreite: $a = 27 - 15{,}6 = 11{,}4$, statt, wie in Wirklichkeit, 7 D.

Selbstverständlich ist der Fehler um so geringer, je schwächer die Ametropie ist. Wünscht man aber ein genaues Resultat, so muss man der Entfernung der Hilfsgläser vom Auge immer Rechnung tragen. Dies ist um so wichtiger, als, wie obiges Beispiel ebenfalls darthut, ihr Einfluss auf r und auf p nicht der numerisch gleiche ist. So ist in unserem Falle das Korrektionsglas für r um 15,6 — 13 = 2,6 D. zu stark, während das für p um 11,4 — 7 = 4,4 D. zu stark ist.

Ähnlich gestalten sich die Verhältnisse auch bei den zur Bestimmung der Refraktion verwendeten Optometern. Ja hierbei kann die Entfernung des Auges von dem optischen Apparate einen noch viel größeren, und für r und p verschiedeneren Einfluss ausüben. Auch kann der Vorwurf, den wir diesen Instrumenten gemacht haben, sie beeinträchtigen, durch Anregung der Akkommodation, die Genauigkeit der Refraktionsbestimmung im Ruhestande des Auges, denselben bei der Bestimmung der dynamischen Refraktion doch nicht als genügende Empfehlung gelten; denn wir wünschen nicht nur eine gewisse, sondern die höchste Akkommodationsanstrengung, und dieser ist man bei Optometern doch noch weniger sicher, als bei einfacherer Annäherung eines Fixierobjektes.

Haben wir schon die Bestimmung des Fernpunktes beim Sehen in die Nähe, d. h. die Bestimmung der statischen Refraktion auf kurze Entfernung, wenig empfehlenswert gefunden, so scheint es uns geradezu ungereimt, Funktionen, die ganz speziell dem Nahesehen vorstehen, wie Akkommodation und Konvergenz, beim Sehen in die Ferne vorzunehmen. Wir verwerfen denn auch die Bestimmung der Akkommodationsbreite mit Konkavgläsern, gerade wie wir diejenige der Konvergenzbreite mit sogenannten adduzierenden Prismen verwerfen.

§ 82. Die Kenntnis der Akkommodationsbreite hat, in diagnostischer Hinsicht, ein großes praktisches Interesse. Sie genügt aber, auch mit der Kenntnis der statischen Refraktion, noch nicht, um die Tüchtigkeit eines Auges zur Arbeit in der Nähe zu beurteilen, oder einem Mangel desselben abzuhelfen.

In welcher Entfernung kann z. B. ein Emmetrope arbeiten, der 3 D. Akkommodationsbreite besitzt? — Jedenfalls nicht in $^1/_3$ m (33 cm), denn diese 3 D. stellen das Maximum der Refraktion dar, welches er, mit Aufwand aller seiner Akkommodationskraft, zu erreichen im stande ist. Diese Kraft ist in einem Augenblicke aufgebraucht. In seiner Nahepunktsdistanz kann kein Mensch arbeiten, d. h. auf diese kürzeste Entfernung kann er nicht dauernd akkommodieren. — Wie für jede ausdauernde Thätigkeit, so muss auch für das Sehen in der Nähe, ein Teil der Kraft in Reserve bleiben, um die während der Arbeit verbrauchte Kraft zu ersetzen. — Das hat man denn auch schon zu Donders Zeiten eingesehen, und z. B. Presbyopen, d. h. Leuten, welche, infolge der mit dem Alter verbundenen Abnahme der Akkommodation, nicht mehr lesen können, nicht nur das sie gerade auf Lesedistanz adaptierende Glas, sondern ein »etwas stärkeres« verschrieben. Nur hat man bei dieser Schätzung der Presbyopie, wie wir bald sehen werden, keine, oder jedenfalls eine unrichtige Regel befolgt.

Monoyer (64) und ich (114a, 119, 186) haben nämlich, unabhängig von einander, nachgewiesen, dass zwischen der disponiblen und der gesamten Akkommodationskraft ein ziemlich konstantes Verhältnis bestehen muss[1]. Wir sind beide auf verschiedenen Wegen, ich durch vielfältige Beobachtungen, zu dem Schlusse gekommen, dass wenigstens ein Drittel der Akkommodationsbreite in Reserve bleiben, und nur zwei Drittel derselben zur Arbeit verwendet werden dürfen. — So würde z. B. der obige Emmetrope nur über 2 von seinen 3 D. Akkommodationsbreite verfügen, d. h. nur auf $\frac{1 \text{ m}}{2} = 50$ cm fortgesetzt arbeiten können, während er 1 D. als Reservefond zurückbehalten müsste.

Nach dieser einfachen Regel lässt sich nun leicht beurteilen, ob ein Auge zu einer gegebenen Arbeit befähigt ist, oder nicht, und wieviel Refraktion wir demselben, in letzterem Falle, durch ein Konvexglas zuzufügen haben.

In erster Linie werden wir nicht von einer allgemeinen Arbeitsdistanz ausgehen, sondern uns in jedem Falle nach der Entfernung erkundigen, in

---

1 Ein analoges Gesetz hat auch mein damaliger Assistent, v. Schröder, für das gegenseitige Verhältnis der latenten, manifesten und totalen Hypermetropie nachgewiesen (110).

welcher der Patient zu arbeiten wünscht. Der reciproke Wert derselben giebt uns die dazu erforderliche Refraktion (t). Sodann sehen wir nach, wieviel davon der Patient aufzubringen im stande ist, wobei $^2/_3$ seiner Akkommodationsbreite (a), sowie seine statische Refraktion (r, Myopie mit +, Hypermetropie mit —, Emmetropie mit 0, in Rechnung zu ziehen sind. Mit anderen Worten, wir bestimmen die für die Arbeit benutzbare Refraktion: $u = \frac{2a}{3} - r$. Was dem Patienten zu der geforderten Refraktion (t) fehlt, geben wir ihm in der Form eines **Arbeitsglases** (w):

$$w = t - u.$$

Dies Arbeitsglas ist offenbar konvex, ($t > u$), denn, ist die disponible Refraktion größer als die geforderte ($u > t$), wegen Überschusses an Akkommodation, so ist die Arbeit nur um so leichter. Übersteigt die disponible Refraktion die zur Arbeit erforderliche infolge von Myopie, d. h. Überschuss an statischer Refraktion, so setzten wir dieselbe, durch das schwächste Konkavglas, auf den gewünschten Wert, dem Patienten die volle Disposition über seine ganze Akkommodationsbreite überlassend.

Nehmen wir ein Beispiel: Eine Näherin muss in 25 cm, d. h. $\frac{1\text{ m}}{4}$ arbeiten. Sie bedarf also $t = 4$ D. positiver Refraktion. — Sie habe eine Myopie von 1 D. ($r = +1$), und 3 D. Akkommodationsbreite ($a = 3$). — Von der letzten darf sie aber nur $^2/_3 = 2$ D. verwenden. — Also besitzt sie im ganzen 2 + 1 = 3 D. disponibler Refraktion. — Ihr mangelt also 4 — 3 = 1 D. — Wir verschreiben ihr Konvex 1, und, wenn sie sonst unter vernünftigen Verhältnissen (Beleuchtung, Dauer, Stellung u. s. w.) arbeitet, so wird sie damit zufrieden sein.

Hätte sie eine Hypermetropie von einer Dyoptrie, so würde sie nicht über 2 + 1, sondern nur über 2 — 1 = 1 D. positiver Refraktion verfügen, da 1 D. der disponiblen Akkommodation zur Korrektion ihres Refraktionsfehlers verbraucht wird. Ihr Arbeitsglas wäre also:

$$4 - 1 = 3\text{ D.}$$

Die gewöhnliche Entfernung, in welcher die gewöhnlichste Arbeit, das Lesen, vorgenommen wird, ist so ungefähr 30 cm. Wer die dazu erforderliche Akkommodation von wegen hohen Alters (45 Jahre für den Emmetropen, weniger für den Hyper-, mehr für den Myopen), nicht mehr aufzubringen im stande ist, den mag man einen »Presbyopen«, einen **Alterssichtigen** heißen.

Donders verlegte den Anfang der Presbyopie auf die Zeit, wenn der Nahepunkt 8″, d. h. ungefähr 22 cm, überschritten hat, d. h. wenn, für den Emmetropen, die Akkommodationsbreite unter 4,5 D. fällt. — Nehmen wir als

Arbeitsdistanz 33 cm an, was 3 D. entspricht, so würde auch nach unserer Rechnungsweise, die Presbyopie für den Emmetropen mit 45 Jahren beginnen. In der That, wenn die zur Arbeit in dieser Entfernung notwendigen 3 D. zwei Drittel seiner Akkommodationsbreite darstellen, so muss er im ganzen deren $3 + 1{,}5 = 4{,}5$ besitzen, was normalerweise diesem Alter entspricht.

Die Übereinstimmung unserer Zahlen mit den Donders'schen ist aber nur eine zufällige. Er wählte 8 Zoll als Ausgangspunkt für die Presbyopie, nur weil ihm die Praxis gezeigt hatte, dass, um auf die gewöhnliche, merklich weitere Entfernung, fortlaufend lesen zu können, ein Mensch, wenigstens für einen Moment, in 8″ scharf zu sehen im stande sein muss. Auf diese 8 Zoll sollten nun alle Presbyopen adaptiert, d. h. allen sollten die zu 4,5 D. positiver Refraktion mangelnden Dioptrien verschrieben werden. Dies ist nun sicherlich ein Irrtum, und zwar deshalb, weil sich Donders an einen absoluten Wert der Akkommodation (4,5 D.) gehalten hat, während ein quotieller, ein zur Totalität in bestimmtem, gleichbleibendem Verhältnisse stehender, erforderlich ist.

Nach der alten Weise würde man, mit zunehmendem Alter, resp. abnehmender Akkommodation, zu starke Gläser verschreiben, würde man doch, nach diesem Prinzipe, einen Akkommodationslosen auf 22 cm, d. h. auf eine viel zu kurze Distanz einstellen.

Nach unserer Berechnung kommt dies nicht vor. Wir geben dem Patienten das Glas, das ihm nach der obigen Formel $w = \frac{2a}{3} - r$ zukommt. Die Zahlen werden selbstverständlich abgerundet, und zwar für ältere Leute im Sinne stärkerer Wirkung, wegen der das Alter begleitenden Abnahme der Sehschärfe.

Auf der nachfolgenden Tafel haben wir, in der ersten Kolonne das Alter, in der zweiten die demselben entsprechende Akkommodationsbreite, nach Donders klassischen Untersuchungen, verzeichnet.

Kolonne III enthält, in abgerundeten Zahlen, die zwei Drittel der Akkommodationsbreite, d. h. den jeweilen disponiblen Teil derselben, aus welchem sich, für jede Entfernung und Refraktion, das Arbeitsglas, nach unserer obigen Formel, leicht berechnen lässt.

In Kolonne IV ist dasselbe für 33 cm (3 D.), in Kolonne V für 29 cm (3,5 D.) berechnet, und Kolonne VI giebt eine mittlere, nach unserer Erfahrung praktisch brauchbare Zahl für das gewöhnliche Leseglas.

Daneben steht, in Kolonne VII, das entsprechende Glas, wie es aus Donders Berechnung folgen würde.

Die Zahlen der Kolonne VI sind für Emmetropen direkt gültig. Bei Ametropie muss das positive Korrektionsglas denselben zugezählt, das negative davon abgezogen werden.

Tafel zur Berechnung des Arbeitsglases.

I	II	III	IV	V	VI	VII
Alter	Akkommodationsbreite a	Benutzbare Akkommodation in runden Zahlen $\frac{2a}{3}$	Arbeitsglas des Emmetropen für 33 cm $f = 3$	für 29 cm $f = 3{,}5$	im Mittel	Presbyopie nach Donders
40	4,5	3	0	0,5	**0,25**	0
45	3,5	2,33	0,75	1,25	**1**	1
50	2,5	1,6	1,25	1,75	**1,5**	2
55	1,75	[illegible]7	1,75	2,25	**2**	2,75
60	1	0,67	2,25	2,75	**2,5**	3,5
65	0,75	0,5	2,5	3	**2,75**	3.75
70	0,25	0,17	3	3,5	**3,25**	4,25

Da die Akkommodation, wie schon Cramer, Helmholtz und Donders erkannt, nicht eine Funktion des Ciliarmuskels allein, sondern ebensosehr der Elastizität der Linse ist, so hat man auch immer die schon vom zehnten Lebensjahre an beginnende Abnahme der Akkommodationsbreite nicht der abnehmenden Kraft des Ciliarmuskels, sondern der abnehmenden Elastizität der Linse zugeschrieben.

Was für ein Verhältnis besteht zwischen der ganzen vorhandenen, der jeweilen aufgebrachten Ciliarmuskelkraft, und der damit verbundenen Refraktionszunahme, hat sich bisher noch nicht bestimmen lassen. Sicher aber ist, dass fortdauernde Arbeit in der Entfernung des Nahepunktes, d. h. bei maximaler Akkommodation, asthenopische Beschwerden hervorruft. Unsere obigen Auseinandersetzungen sind denn auch nicht Theorien entsprungen, sondern auf vielfache Untersuchungen und langjährige Erfahrung gegründet.

Bestimmung des Verhältnisses zwischen Akkommodation und Konvergenz der relativen Akkommodations- und Konvergenzbreite.

So wie Donders uns das Wesen der Akkommodation erschlossen hat, so verdanken wir auch ihm die Kenntnis des innigen Zusammenhanges derselben mit der anderen für das Sehen in der Nähe so wichtigen Funktion, der Konvergenz.

Die hier bezüglichen Untersuchungen, die der große Forscher über relative Akkommodations- und Konvergenzbreite unternommen hat, gehören allerdings mehr in das Gebiet der Physiologie, als der augenärztlichen Praxis. Wir müssen deshalb den Leser, was die Beschreibung des Apparates, mit dem dieselben angestellt worden sind, betrifft, auf Donders Werk verweisen (5a und 12). Es wäre jedoch sehr zu wünschen, diese Untersuchungen würden wiederholt, und weiter ausgedehnt. Die Praxis würde unzweifelhaft auch ihren Gewinn dabei finden.

Nachdem uns Nagel in der Meterlinse (Dioptrie), und dem Meterwinkel ein so treffliches Maß für Akkommodation und Konvergenz an die Hand gegeben hat, können wir das Problem dieser Untersuchungen sehr einfach in folgender Weise ausdrücken:

1. Um wieviele Dioptrien lässt sich die Akkommodation, bei unveränderter Konvergenz, erhöhen und vermindern?

2. Um wieviele Meterwinkel lässt sich die Konvergenz, bei unveränderter Akkommodation, erhöhen und vermindern?

Bei diesen Untersuchungen wird man also in folgender Weise vorgehen: Bei gleichbleibender Konvergenz, d. h. konstanter Entfernung des Fixierobjektes von den Augen des zu Untersuchenden, setzt man demselben immer stärkere Konkav-, resp. schwächere Konvexgläser vor, bis das Objekt undeutlich, oder doppelt erscheint. Das so gefundene Glas entspricht dann dem Maximum, oder dem positiven Teile der relativen Akkommodationsbreite. — Das in gleicher Weise gefundene stärkste Konvex-, resp. schwächste Konkavglas entspricht dem Minimum, oder dem negativen Teile der relativen Akkommodationsbreite, für die gegebene Konvergenz.

Wünscht man die relative Konvergenzbreite direkt zu bestimmen, so benutzt man dazu am einfachsten das im Abschnitte der Augenbewegungen zu beschreibende, mit meiner Einteilung in Meterwinkel versehene Doppelprisma. Bei gegebener Akkommodation, wird dasselbe erst als adduzierendes, dann als abduzierendes Prisma vor eines der beiden offenen Augen gehalten, und seine ablenkende Kraft allmählich erhöht, bis Doppel- oder Undeutlichsehen eintritt. Die der Adduktion entsprechenden Meterwinkel geben selbstredend den positiven, die der Abduktion entsprechenden, den negativen Teil der relativen Konvergenzbreite.

Die für die relative Akkommodations- wie Konvergenzbreite erhaltenen Resultate trägt man am besten in ein Koordinatensystem ein, dessen Ordinaten Dioptrien, dessen Abscissen Meterwinkeln entsprechen. Befindet sich, bei korrigierter Ametropie, der beiden Funktionen gemeinschaftliche Nullpunkt links unten, so enthält die von ihm aus nach rechts oben gehende Diagonale die Punkte, wo Akkommodation und Konvergenz gleichwertig sind. — Der auf den Ordinaten darüber liegende Teil entspricht dem positiven, der darunter liegende dem negativen Teile der relativen Akkommodationsbreite, während, auf den Abscissen, rechts von der Diagonalen, der positive, links davon der negative Teil der relativen Konvergenzbreite zu verzeichnen ist.

In der Praxis leistet uns unser Ophthalmodynamometer zur raschen Prüfung, ob und wie weit Akkommodation und Konvergenz zusammen harmonieren, sehr gute Dienste.

Wie schon erwähnt, trägt das Kamin des Instrumentes u. a. eine Reihe senkrecht übereinander stehender, punktförmiger Öffnungen (Fig. 151). Wird das Instrument, bei angesteckter Kerze, dem Untersuchten auf der Medianlinie genähert, so erscheinen ihm die Punkte so lange scharf, als er darauf richtig akkommodiert, und die von demselben gebildete Linie so lange einfach, als er darauf richtig konvergiert.

Ist der Nahepunkt der Akkommodation überschritten, so erscheinen die Punkte verwaschen, ist der Nahepunkt der Konvergenz überschritten, so erscheint die Linie in gekreuzter Diplopie.

Was die zu fortgesetzter Arbeit erforderliche Konvergenzquote betrifft, so verweisen wir auf die Untersuchungsmethoden der Augenbewegungen. Da werden wir finden, dass, wenn zu fortdauernder Arbeit ein Drittel der Akkommodationsbreite als Reservefonds genügt, von der Konvergenzbreite beinahe zwei Drittel in Reserve bleiben müssen, und nur einer zur Arbeit verwendet werden darf.

Litteratur zu Abschnitt IV.

1759. a. Porterfield, On the eye. IV. S. 423 und Edinburgh med. Essays. IV. S. 185.

1801. b. Young, Th., Philosoph. Transactions. S. 34.

1829. c. Lehot, Bullet. universel des Sciences mathem. S. 417.

1846. 1. Donders, F. C., Holländische Beiträge u. s. w. I. S. 379.

1854. 2. Smee, Alfred, The Eye in health and disease. London.

1856. 3. v. Helmholtz, Physiologische Optik.

4. Privat-Deschanel, Manuel de physique. (Silbermann's Focomètre.

1858. 5a. MacGillavry, Th. H., Onderzoekingen over de hoegrootheid der accommodatie. Inaug.-Diss. Utrecht.

1859. 5b. Bowman, W., Ophth. Hosp. Rep. S. 157.

1860. 6. Donders, F. C., Beiträge zur Kenntnis der Refraktions- und Akkommodationsanomalien. Arch. f. Ophth. VI, 1. S. 62 u. VI, 2. S. 210. 1860 u. VII, 1. S. 155. 1861.

7. Happe, Ludwig, Die Bestimmungen des Sehbereiches und dessen Korrektion nebst Erläuterungen über den Mechanismus der Akkommodation. Braunschweig.

1862. 8. Knapp, J. H., Asymmetrie des Auges u. s. w. Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 220.

1863. 9. Schweigger, C., Bemerkungen über die Diagnose und Korrektion des Astigmatismus. Arch. f. Ophth. IX, 1. S. 178.

10. Burow, A., Vorläufige Notiz über die Konstruktion eines neuen Optometers. Arch. f. Ophth. IX, 2. S. 228.

11. Donders, F. C., Bepaling van den brandpuntsafstand van lenzen. Verslag Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 4. S. 99.

1864. 12. Donders, F. C., Die Refraktionsanomalien des Auges und ihre Folgen. Arch. f. d. Holl. Beiträge z. Natur- u. Heilk. III. S. 327 und
On the anomalies of Refraction and Accommodation of the eye. London. Deutsch 1866.

13. Kugel, C., Über die Wirkung schief vors Auge gestellter sphärischer Brillengläser beim regelmäßigen Astigmatismus. Arch. f. Ophth. X, 1. S. 89.

1864. 14. Giraud-Teulon, Interprétation nouvelle de la formule classique, qui résume la theorie optique des lentilles. Ann. d'Ocul. LII. S. 5.
15. Burow sen., A., Über die Reihenfolge der Brillenbrennweiten. Berlin.
16. Giraud-Teulon, Über eine vereinfachte Anschauungsweise der optischen Grundformel. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. II. S. 316.
17. Knapp, J. H., Über die Diagnose des irregulären Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. II. S. 304.
1865. 18. Kaiser, H., Die Theorie des Astigmatismus. Arch. f. Ophth. XI, 3. S. 186.
19. Verschoor, J. B., Optometers en optometrie. Inaug.-Diss. Utrecht.
20. Javal, E., Note sur le choix des verres cylindriques. Ann. d'Ocul. LIII. S. 50 u. LV. S. 5. 1866.
21. Javal, E., Über ein neues Instrument zur Prüfung des Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 336.
1866. 22. Reymond, C., Trattato teorico pratico delle malattie della Refrazione oculare statica e dinamica. Torino.
23a. Javal, Stokes'sche Linse. Ann. d'Ocul. LV. S. 5; LXI. S. 73. 1869, und LXXX. S. 201. 1878. — Klin. Monatsbl. II. S. 372. 1868.
23b. Javal, E., De l'astigmatisme. Arch. gén. Août. S. 234; Gaz. des Hôp. XL, 82. S. 326. Juli und Bull. de l'Acad. XXXII. S. 872. Août 1867.
24. v. Zehender, W., Die Akkommodations- und Refraktionsanomalien. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. IV. S. 279.
25. v. Zehender, W., Vorschlag zu einer vereinfachten und verbesserten Einrichtung unserer Brillenkasten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. IV. S. 1.
26. Green, John, Toetslynen tot bepaling van astigmatisme. Verslag Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 7. S. 155 und Nederl. Arch. v. Gen. en Natuurk. II. und Über die Auffindung und Messung des Astigmatismus. Amer. Journ. of med. Sc. Jan. Auch als Sep.-Ausg.
1867. 27. v. Helmholtz, Handb. d. physiol. Optik und 1896. 2. Aufl. S. 176.
28. Burow, Ein vereinfachtes Verfahren bei Bestimmung der Brillen. Berliner klin. Wochenschr. VII. 10. März.
29. Mauthner, L., Die Bestimmung der Refraktionsanomalien mit Hilfe des Augenspiegels. Wien.
30. Kaiser, H., Die Wahl der Brillen. Arch. f. Ophth. XIII, 2. S. 366.
31. Javal, E., Über einheitliche Maßbestimmung der Brillenbrennweiten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. V. S. 297.
1868. 32. Burow, Sur les séries des verres et sur l'emploi du système métrique pour le numérotage des lunettes. Ann. d'Ocul. LX. S. 5.
1869. 33. Perrin, M., et Mascart, Mémoire sur un nouvel optomètre, destiné a faire reconnâitre et a mesurer tous les vices de la réfraction de l'oeil. Ann. d'Ocul. LXI. S. 5.
34. Giraud-Teulon, De l'influence des lentilles etc. Ann. d'Ocul. LXVII. S. 95.
35. Berlin, R., Zur Diagnose der latenten Hypermetropie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 1.
36. Green, John, On a colour Test for Astigmatism. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 130.
37. Green, John, On a new System of Tests for the Detection and Measurement of Astigmatism, with an Analysis of sixty-four Cases of refractive Anomalies observed by the Aid of this Method. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 131.
38. Pray, Orestes M., Test-Type for Astigmatism. Arch. f. Ophth. and Otol. I/II. S. 17. Deutsch von F. Heymann. Leipzig 1870.
1870. 39. Thomson, B. M., An additional method to determine the degree of Ametropia. Amer. Journ. of the med. Sc. Jan.

1870. 40. Snellen, H., De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog. Verslag Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 151. 1869; Arch. f. Ophth. XV, 2. S. 199. 1869 u. Nederl. Arch. v. Gen. en Natuurk. V. S. 43.

41. Bezold, Fr., Über Brillenbestimmung. Bayer. ärztl. Intelligenzbl. S. 18.

42a. Schobbens, Table des réciproques. Ann. d'Ocul. LXIV. S. 207.

42b. Heymann, F., Buchstaben zur Bestimmung des Astigmatismus. W. Engelmann, Leipzig.

1871. 43. Strawbridge, An additional method for the determination of Astigmatisme. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 100—105.

44. Berlin, E., Zur Berechnung des Astigmatismus der Hornhaut. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. IX. S. 217.

1872. 45. Javal, E., Das metrische System für optische Fokallängen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. X. S. 294.

46. Giraud-Teulon, Necessité, préalable à toute observation optique, d'une détermination exacte des constances dioptriques dans notre propre oeil. Ann. d'Ocul. LXVIII. S. 56.

1873. 47. Purves, Laidlaw, A method of determining the anomalies of Refraction of the human Eye. London. — Eine Methode zur Bestimmung der Refraktionsanomalien. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 89—100.

48. Snellen, H., Die Stokes'sche Linse mit konstanter Achse. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 78—88.

49. Warlomont, E., De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des verres de lunettes. Ann. d'Ocul. LXIX. S. 5 u. 193.

50. v. Zehender, W., Zur Frage der Einführung des französischen Maßes in die Dioptrik. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 267.

51. Nagel, Zur Brillennumerierungsfrage. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 93.

52. v. Zehender, W., Giraud-Teulon's Vorschlag, betreffend die Numerotage der Brillengläser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 223.

53. v. Zehender, W., Über die Einführung des metrischen Systems in die Lehre von den Refraktionsanomalien des menschlichen Auges. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 1.

54. Burow, M., De l'emploi du système métrique pour désigner les longueurs focales des verres de lunettes. Ann d'Ocul. LXX. S. 52.

55. Burow, M., Das Metermaß zur Bezeichnung der Brillenbrennweite. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 145.

56. Monoyer, F., Sur l'introduction du système métrique dans le numérotage des verres de lunettes etc. Ann. d'Ocul. LXIX. S. 97.

57. Giraud-Teulon, De la substitution du mètre au pied dans le numérotage des verres de lunettes. Ann. d'Ocul. LXIX. S. 235.

58. Königsberg, Entgegnung auf Giraud-Teulon's letzte Arbeit über Brillennumerotage. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 303.

59. Cuignet, Kératoscopie. Rec. d'Opht. S. 14 u. 316. 1873/74; S. 59. 1877; S. 322. 1880; S. 11—26. 1887.

60. Landolt, E., Handb. d. ges. Augenheilk. 1. Aufl. III. S. 111 u. 136—139.

1874. 61. Snellen's Optometer. Handb. d. ges. Augenheilk. III. S. 80.

62. Burchardt, Die objektive Bestimmung der Sehweite. Deutsche militärärztl. Zeitschr. III. S. 107.

1875. 63. Schöler, Jahresbericht seiner Klinik. S. 55.

64. Monoyer, Nouvelle formule destinée à calculer la force refringente au le numéro des verres de lunettes dans la presbytie. Soc. des Sc. de Nancy u. Compt. rend. de l'Acad. des Sc.

1876. 65. Badal, Nouvel optomètre, donnant à la fois et dans une seule operation, la mesure de la refraction et celle de l'acuité visuelle. Ann. d'Ocul. LXXV. S. 5 u. 101.

1876. 66. Landolt, E., Metrisches Refraktionsophthalmoskop. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 244.

67. Mauthner, Die optischen Fehler des Auges. S. 738.

68. Landolt, E., Die Einführung des Metersystems in die Ophthalmologie. Enke, Stuttgart, und Das Verhältnis der Brillengläser der alten zu denen der neuen Serie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 223.

69. Snellen, H., Phakometer. 17. jaarl. Verslag van het Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 204 und Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 363 und de Wecker et Landolt, Traité complet d'Opht. I. S. 666.

1877. 70. Schmidt-Rimpler, Eine neue Methode ophthalmoskopischer Refraktionsbestimmung. Berliner klin. Wochenschr. No. 4 u. 5 und Zeitschr. f. Instrumentenkunde. Nov. 1882.

71. Hirschberg, J., Optometer. Beiträge z. prakt. Augenheilk.

72. Burchardt, M., Objektive Bestimmung der Sehweite in Centimetern und Dioptrien. Deutsche med. Wochenschr. No. 13.

73. Landolt, E., Leçons sur le diagnostic des maladies des yeux faites à l'Ecole pratique de la faculté de Paris.

1878. 74. Thomson, Ametrometer. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 455.

75. Badal, Méthode nouvelle pour le diagnostic retrospectif de la réfraction après l'extraction du cristallin et dans l'aphakie en général. Ann. d'Ocul. LXXX. S. 42.

76. Badal, Phakometer. Ann. d'Ocul. LXXIX. S. 20.

77. Schmidt-Rimpler, Über ophthalmoskopische Refraktionsbestimmung mit Hilfe des umgekehrten Bildes. Naturforschervers. Kassel. Med. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Nov.

78. Loiseau, Optometrie ophtalmoscopique au moyen de l'image renversée. Ann. d'Ocul. LXXX. S. 66.

79. Loiseau, Optomètre métrique et phakomètre. Ann. d'Ocul. LXXX. S. 5.

80. Oudemans, Fr. A. C., Distances focales des lentilles à court foyer. Arch. Neerl. XIII. S. 110.

81. Green, John, Test diagrams for the detection of astigmatism. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 467.

82. Mengin, De la kératoscopie. Rec. d'Opht. S. 122.

83. Javal, Lentille de Stokes modifiée. Ann. d'Ocul. LXXX. S. 201.

84. Schön, W., Apparat zur Bestimmung des Astigmatismus, besonders in seitlichen Sehrichtungen. Arch. f. Ophth. XXIV, 4. S. 91.

85. v. Reuss, Funktionelle und ophthalmoskopische Refraktionsbestimmung. Arch. f. Ophth. XXV, 1. S. 124.

1879. 86. Landolt, E., A manual of examination of the eyes. Brinton, Philadelphia.

87. Thompson, S. P., A new method for the diagnosis of refraction. Hosp. Gaz. New York. V. S. 44.

88. de Wecker, Ophthalmoskop mit Doppeldiskus zur Refraktionsbestimmung Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 82.

89. Grossmann, Refraktionsophthalmoskop. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 77.

90. Hirschberg, On refractions-ophthalmoscopes. Ophth. Hosp. Rep. IX. 3. S. 355.

91. Hintzy, Rec. de méd. milit. XXXVI. S. 52. Paris.

92. Peltzer, Über Optometer und militärärztliche Augenuntersuchungen u. s. w. Deutsche milit. Zeitschr. No. 12.

93. Burgl, Über Augenuntersuchungen bei der Rekrutierung u. s. w. Deutsche milit. Zeitschr. No. 12.

94. Loiseau, Optomètre métrique. Ann. d'Ocul. LXXXI. S. 40.

95. Warlomont et Loiseau, Ophtalmoscoptomètre. Ann. d'Ocul. LXXXII S. 129 und LXXXV. S. 33. 1881.

96. Sous, Traité d'Optique. S. 297.

1879. 97a. Prompt, Procédé optométrique. Ann. d'Ocul. LXXXI. S. 260.
1880. 97b. Nagel, A., Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation. Handb. d. ges. Augenheilk. 1. Aufl. VI. S. 315ff.
1881. 98. Kuhnt, H., Verordnung von Brillen für Kurzsichtige. Korrespondenzbl. d. allg. ärztl. Vereins in Thüringen. X, 1.
99. Placido, Keratoscop. Periodico d'oftalmologia pratica.
1882. 100. Loiseau, Applications à l'examen des hommes de guerre du procédé dit: Kératoscopique. Ann. d'Ocul. LXXXVIII. S. 156.
101. Burgmeister, Demonstration des Keratoskopes von Placido. Anzeiger d. k. k. Ges. d. Ärzte in Wien. No. 2.
102. Juler, The application of retinoscopy to the diagnosis of the errors of refraction. Brit. med. Journal. II. S. 670.
1882. 103. de Wecker et Masselon, Un astigmomètre. Ann. d'Ocul. Juillet.
104. Rodenstock, Probierbrille. Würzburg.
105. Risley, A new trial-glass-frame. Philadelphia med. Times. XII. S. 739.
106. Seggel, Ein doppelröhriges metrisches Optometer. Ärztl. Intelligenzbl.
107. Leonhard, Eine neue optometrische Methode u. s. w. Leopoldina. Heft 23 und Schön in Nagel's Jahresber. f. 1882. S. 209.
108. Placido, Korrespondenzbl. f. prakt. Augenheilk. S. 30.
109. Parent, De la Kératoscopie. Rec. d'Opht. S. 65 u. 424. 1880. S. 216. 1882 und Soc. franç. d'Opht. 1895.
110. de Schroeder, Th., De l'essence de l'hypermétropie manifeste et de l'hypermétropie latente. Arch. d'Opht. II. S. 289.
1883. 111. Burchardt, M., Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Refraktion des Auges im aufrechten Bilde. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 353.
112. Imbert, La dioptrie métrique en opht. Lyon.
113. Bagnéris, Emploi des verres correcteurs en ophtalmologie. Thèse pour le concours d'agrégation. Paris.
114a. Landolt, E., Refraction et Accommodation in de Wecker et Landolt. Traité complet d'Opht. III.
1884. 114b. Landolt, E., La quote d'accommodation et de convergence de Wecker et Landolt, Traité complet d'Opht. III. S. 354 und Arch. d'Opht. V. S. 108. 1885.
114c. Leroy, De la kératoskopie. Arch. d'Opht. S. 184 und Rev. gén. d'Opht. 1 u. 8. 1887.
115. Schön, Beiträge zur Dioptrik des Auges. Leipzig.
116. Schulek, Kompendiöser Brillenkasten. Pester med. chir. Presse. S. 97.
117. Eperon, De la détermination à l'image droite des degrés élevés de myopie. Arch. d'Opht. IV. S. 217.
1885. 118. Plehn, Ein Apparat zur Ermittlung von Refraktion und Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 269.
119. Landolt, E., Die Insufficienz des Konvergenzvermögens. Heidelberger ophth. Ges. und l'amplitude de Convergenz. Arch. d'Opht. V. S. 100.
1886. 120. Gordon, Norrie, Om Skiascopi. Ugeskr. f. Läger. VI, 35 u. 36.
121. Chibret, Skiascopie, ses avantages etc. Arch. d'Opht. VI. S. 146.
122a. Morten and Barret. A clinical investigation of the merits of the various methods of practisting retinoscopy. Brit. med. Journ. S. 105.
122b. Rosenthal, Über Beleuchtung und den Zusammenhang derselben mit der Sehschärfe. Vers. deutscher Naturf. S. 416.
123. Lemaire, Optomètre, Astigmomètre. Rec. d'Opht. S. 611.
124. Landolt, E., The Refraction and Accommodation of the eye. Ed. Young Pentland. Edinburg. S. 232—235.
125. Landolt, E., The Refraction and Accommodation of the eye. Ed. Young Pentland. Edinburg. S. 247.
126. Landolt, E., The Refraction and Accommodation of the eye. Ed. Young Pentland. Edinburg. S. 251.

1886. 127. Landolt, E., The Refraction and Accommodation of the eye. Ed. Young Pentland. Edinburg. S. 264.

128a. Landolt, E., The Refraction and Accommodation of the eye. Ed. Young Pentland. Edinburg. S. 267.

128b. Landolt, E., The Refraction and Accommodation of the eye. Ed. Young Pentland. Edinburg. S. 292.

1887. 129. Landolt, E., Notation de l'astigmatisme. Congr. d'Opht. à Paris. Ann. d'Ocul. XCVII. S. 264. — Rapport de la commission pour la notation de l'astigmatisme. Soc. franç. d'Opht. S. 237.

130a. Swan Burnett, Treatise on astigmatism. Chambers & Co., St. Louis.

130b. Bettremieux, Note clinique sur l'astigmatisme. Arch. d'Opht. S. 513.

130c. Armagnac, Notation uniforme de l'astigmatisme. Ann. d'Ocul. XCVII. S. 543.

131. Fitzgerald, Demonstration eines Apparates zur schnellen Bestimmung der Refraktion. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 204.

132. Boucheron, Notation horaire de l'astigmatisme. Soc. franç. d'Opht. S. 193.

1888. 133. Knapp, Die Meridianbezeichnung beim Verschreiben von Cylinderlinsen. Internat. ophth. Kongr. Heidelberg.

134. Ward and Holden, A new Optometer for determining all errors of refraction. Ophth. Kongress. Heidelberg.

135. Monoyer, F., Optométrie scotoscopique, ou détermination de l'amétropie par l'observation des phases de chatoiement et d'obscurité pupillaires dues aux mouvements de l'image aérienne. Explication par la théorie des images de diffusion. Rev. gén. d'Opht.

1889. 136a. Gullstrand, A., Bestimmung des Hornhautastigmatismus mittelst Denivellierung des ophthalmometrischen Bildes. Nord. ophth. Tidsskr. II. S. 93.

136b. Schweigger, Refraktionsbestimmung durch Beleuchtungsprobe. Arch. f. Augenheilk. S. 442.

137. de Wecker et Masselon, Modification de l'astigmomètre. Ann. d'Ocul. S. 138.

138. Starr, E., A new optometer. Amer. Journ. of Ophth. S. 71.

139. Lyder, Borthon, Refraktionsaugenspiegel mit zwei Brennweiten. Nord. ophth. Tidsskr. II. S. 105 und Norsk. Magaz. f. Lägevid. No. 9.

1890. 140. Hotz, A simple and reliable Astigmometer. Amer. med. Assoc. Amer. Journ. of Ophth. XIV. S. 420.

141. Würdemann, H. V., The use of skiascopy in the determination of refraktion errors. Amer. Journ. of Ophth. S. 137.

142. Chibret, Un optomètre de poche. Rec. d'Opht. S. 116.

143. Donberg, Vereinfachte Probiergläsersammlung u. s. w. Westnik Ophth. VII, 4 u. 5. S. 348.

144. Berger, Appareil destiné à remplacer la boîte de verres d'essai. Ann. d'Ocul. CIV. S. 39.

145. de Wecker et Masselon, Un ophtalmostatomètre. Ann. d'Ocul. CIV. S. 147.

1891. 146. Schmidt-Rimpler, Instrumente zur Refraktionsbestimmung. 21. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 149.

147. Fick, A. F., Die Bestimmung des Brechzustandes eines Auges durch Schattenprobe (Skiaskopie). Wiesbaden, J. F. Bergmann.

148. Dimmer, Zur Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 111.

149. Gutmann, Ein Probierbrillengestell. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 358.

150. Roth, Deutsche militärärztl. Zeitschr. No. 8 u. 9.

1891. 151. Ostwalt. Einige Worte über Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 283.
152. Würdemann, A simple skiaskope. Amer. Journ. of Ophth. S. 223.
153. Schweigger, Über objektive Bestimmung der Refraktion an dem elektrischen Augenspiegel. Festschrift f. v. Helmholtz. S. 84.
1892. 154. Buller, An improved trial-frame. Transact. Amer. Ophth. Soc S. 156.
155. Noordijk, J. T., Obj. bepaling der refractie anomalien door middel van een op het netvlies geworpen kruis vorming licht beeld. Nederl. mil. Geneesk. Arch. Leiden. XVI. S. 543.
156. Rüppel, Zur Skiaskopie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII. 2. S. 174.
157. Laurehty, K., Das Refraktionsbinocle, ein neues Optometer. Petersburger med. Wochenschr. S. 191.
158. Ostwalt, Pupillomètre et nouvelle lunettes d'essai. Rev. gén. d'Opht. S. 289.
159. Mergier, Optomètre portatif pour la détermination rapide des amétropies. Ann. d'Ocul. CVIII. S. 351.
160. Lessing, Vervollkommnung der Refraktionsbestimmung u. s. w. O. Meissner.
161. Heddaeus, Ein Probierbrillengestell. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 150.
162. Heddaeus, Zur Skiaskopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 327.
163. Müller, Zur Skiaskopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 389.
164. Rindfleisch, Einfacher Apparat zur objektiven Refraktionsbestimmung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 219.
165. Parent, Exposé théorique de la skiascopie. Arch. d'Opht. XII. S. 560.
166. Parent, Ophtalmoscope à refraction avec des verres cylindriques et un miroir à foyer variable. Ann. d'Ocul. CVII. S. 195.
1893. 167. Bitzos, Encore quelques mots sur la skiascopie. Ann. d'Ocul. CXIX. S. 347.
168. Wolff, Ein neues Scheibenskiaskop. Mit selbstthätigem Spiegelapparat. Klin. Monatsbl. f. Augenkeilk. S. 439.
169. Fick, A. E., Eine neue Methode der Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde. Ges. deutscher Naturf. Nürnberg. II, 2 und Dissertation d. Dr. E. Rychner. Zürich. 1894.
170. Trukart-Fellin, Über Skiaskopie. Petersburger med. Wochenschr. X. S. 65.
171. Hess, Zur Skiaskopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 153.
172. Wolffberg, Über die Funktionsprüfungen des Auges. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 158.
173. Schultze, Probierbrille aus Aluminium. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 342.
174. Harlan, Meridians in astigmatism. Arch. of Ophth. XX, 2. S. 1.
175. Hess, Demonstration eines Skiaskopes. 23. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 236.
176. Javal, Soc. franç. d'Opht. S. 410.
1894. 177. Bordier, Détermination de l'acuité visuelle des yeux amétropes avec l'optomètre de Badal. Arch. d'Opht. XIV. S. 561.
178. Bunnstead, A new centring instrument. Arch. of Ophth. XXIII. S. 88.
179. Heddaeus, Probierbrille. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 361.
180. Hersing, Ein Taschenbrillenkasten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 21.
181. Dimmer, Eine Probierbrille. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 166.
182. Sureau, Skiascopie et Skiascope optomètre. Soc. franç. d'Opht. Paris.
183. Sgrosso, Modificazione all' occhiale di prova etc. Arch. di Ottalm. II. S. 55.
184. Oliver, A new trial-frame. Ann. of Ophth. and Otol. January.

1894. 185. Weiss, M. G., La puissance des systèmes centrés. Assoc. franc. p. l'avancement des Sciences. Congr. de Caen.

1895. 186. Landolt, E., Le verre correcteur de la presbyopie. Arch. d'Opht. S. 273.

187. Parent, Un ophtalmoscope à réfraction. Soc. franç. d'Opht. S. 67.

188. Schweigger, Bemerkungen über die Diagnose des Astigmatismus. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 89.

189. Guilloz, Le diagnostic ophtalmoscopique de l'astigmatisme. Arch. d'Opht. XV. S. 372.

190. Guaita, Dimostrazione sperimentale dei fenomeni della schiascopia. XI. Congresso med. internat. Roma. VI. S. 104.

191. Parent, Rapport sur la valeur des procédés objectifs d'optométrie. Soc. franç. d'Opht.

192. Bardelli, La skiaskopia. Ann. d'Ocul. CXIV. S. 401.

193. Weiss, M. G., La puissance de l'oeil et l'amplitude d'accommodation. Ann. d'Ocul. S. 232.

1896. 194. Denig, Demonstration eines Skiaskopes. Ophth. Ges. Heidelberg. S. 310.

195. Lucciola e Magnani, La schiascopia. Giorn. med. del R. esercito. XLIV. No. 10. S. 869.

196. Weiss, G., Formation des images par les systèmes astigmates reguliers. Ann. d'Ocul. S. 259.

197. Wallace, An apparatus for measuring accommodation. Amer. ophth. Rev. S. 243.

198. Seher, Westnik Ophth. XIV. S. 219.

199. Jackson, The mirror for skiaskopy. Amer. Journ. of Ophth. S. 101.

200. Thorington, A modified coverchimney. Ann. of Ophth. and Otol. IV. S. 1027.

201. Stadfeldt, A., Die Veränderung der Refraktion nach Extraktion der Linse. Monatsbl. f. Augenheilk. März.

202. Wolff, H., Skiaskop mit selbstthätigem Spiegelapparat. Elektrische Ophthalmoskopie. 25. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 320.

203. Eperon, De la correction opératoire de la myopie forte. Arch. d'Opht. S. 750.

204. Jennings, E., An improved sciascope. Amer. Journ. of Ophth. S. 326.

205. Monti, R., Determinazione dell' astigmatismo e di varii gradi di miopia ed ipermetropia. Giorn. d. R. Accad. di med. di Torino. S. 213.

1897. 206. Peter, Einheitliche Bezeichnung der Achsenstellung cylindrischer Gläser. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 223.

207. Ziegler, A note an the use of Dr. Zeng's Refractometer. Ophth. Rev. Sept.

208. Visser, Eine neue objektive Refraktionsbestimmung. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Sept.

209. Hirschberg, J., Über Verminderung der Kurzsichtigkeit durch Beseitigung der Krystalllinse. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 65.

210. Ostwalt, Beitrag zur Dioptrik des Auges. Arch. f. Ophth. LIV, 3. S. 565.

211. Schoen, W., Der Brechungsverlust bei Linsenentfernung. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Jan.

212. Monoyer, F., Mésure et correction de la presbytie, extension des formules des lunettes à toutes les anomalies de la réfraction. Arch. d'Opht. XVII. S. 721.

213. Landolt, E., Therapeutisches Taschenbuch für Augenärzte. S. 11.

1897. 214. Leber, Th., Sehschärfe hochgradig myopischer Augen vor und nach Beseitigung der Linse. Arch. f. Ophth. XLIII, 1. S. 218.

215. Neustätter, Ein Leiterskiaskop mit Verwendung der Brillenkastengläser u. s. w. Ophth. Ges. Heidelberg. S. 267.

216. Fryer, A new lamp for skiascopy. Amer. Journ. of Ophth. S. 106.

1898. 217. Hegg, Instrument zur Bestimmung des Fernpunktes bei hochgradiger Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 179.
218. de Falco, Nuova teoria dell' ombra nella schiascopia. Ann. di Ottol. XXVII. S. 129.
219a. Plantenga, H. G. W., Die Tiefe der vorderen Kammer in verschiedenem Alter und bei verschiedenem Refraktionszustande. Nederl. Tijdschr. voor Geneesk. März.
219b. Neustätter, O., Phantome und Wandtafeln zur Schattenprobe. J. F. Lehmann, München.
1900. 220. Thorner, Walther, Über objektive Refraktionsbestimmungen mittelst meines reflexlosen Augenspiegels. Zeitschr. f. Psychol. u. s. w. XXIII. Leipzig.
221. Wolff, Hugo, Über das elektrische Skiaskop. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg.
1901. 222. Heine, Über den skiaskopischen Strahlenverlauf. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.
223. Landolt, E., Determination of the presumable refraction of the eye with and without its crystalline Lens. Arch. of Ophth. XXX. No. 5.
224. Fick, A. E., Das Akkommodieren der Astigmatiker bei ungezwungenem Sehen. Arch. f. Ophth. LII, 1.
1902. 225. Uzuhiko, Mayeda, Ein Optometer. Deutsche med. Wochenschr. No. 42.
226. Holth, S., Kineskopie. Ann. d'Ocul. CXXVII. S. 241.
227. Lendon (London), E. H., The Method of Cuignet or Retinoskopy.
1903. 228. Wolff, Hugo, Über die Skiaskopietheorie und über mein elektrisches Skiaskopophthalmometer. Berlin, Karger.

V. Photometrie und Photoptometrie.

Lichtmessung und Untersuchung des Lichtsinnes.

Von

Dr. Eduard Hummelsheim,

Privatdozent in Bonn.

Mit Fig. 152—164.

I. Photometrie (Lichtmessung).

§ 83. Die exakte Untersuchung der verschiedenen Funktionen des Auges sowohl wie die Forderungen der Gesundheitspflege machen es gelegentlich nötig, die Leuchtkraft einer Lichtquelle, die Helligkeit einer beleuchteten Fläche oder sonst einer Stelle im Raume zu messen. Dazu bedient man sich der Photometer.

Ihr Bau beruht auf dem Vergleich der zu prüfenden Helligkeit mit derjenigen einer Lichtquelle von bekannter Intensität. Das Auge kann wohl unterscheiden, ob zwei Lichtempfindungen gleichstark sind oder nicht; die Größe dieses Unterschiedes zu beurteilen, ist es jedoch außer stande. Bei den photometrischen Untersuchungen werden daher die beiden Helligkeiten

einander gleich gemacht, und man bestimmt den Grad der hierzu nötigen Abschwächung oder Verstärkung der einen oder anderen derselben.

Die verschiedenen Lichtarten hat man auch auf Grund ihrer chemischen oder thermischen Wirkung miteinander verglichen. Im folgenden soll bei der Schilderung der photometrischen Methoden nur ihre leuchtende Kraft Berücksichtigung finden.

Die wesentlichen Bestandteile eines Photometers sind demnach: eine Vorrichtung zum Vergleich der Helligkeiten und eine solche, um die Änderung der Lichtstärke zu messen.

§ 84. Am einfachsten geschieht beides dadurch, dass man mit jeder der Lichtquellen ein Stück einer Fläche erleuchtet. Das schwächere Licht wird in bestimmtem Abstande von der Fläche aufgestellt und das andere so weit entfernt, bis die beiden Felder gleich hell sind. Die Berechnung geschieht nach dem KEPLER'schen Gesetz.

Ein Photometer dieser Art konstruierte BOUGUER (1) bereits im Jahre 1760. Die beiden Helligkeiten beleuchten, durch einen Schirm getrennt, von derselben Seite her eine undurchsichtige Platte. Man verschiebt nur das stärkere Licht oder beide senkrecht zur Beleuchtungsfläche, bis deren beide Hälften gleich erscheinen. Ein Maßstab giebt die Größe des Abstandes und zugleich die Helligkeitsdifferenz der untersuchten Lichtarten an.

Wählt man einen durchsichtigen Schirm, aus transparentem Papier oder mattgeschliffenem Glas etwa, so lässt sich die Beobachtung von der anderen Seite aus vornehmen (POTTER).

Die Genauigkeit der Beurteilung wird noch wesentlich erhöht, wenn man die Scheidewand ein wenig von dem Schirm abrückt (FOUCAULT'sches Photometer). Es fällt so der durch jene hervorgerufene dunkle Schattenstreifen fort, und die beiden Felder grenzen unmittelbar aneinander. Ein etwaiger Unterschied in ihrer Helligkeit tritt dadurch viel deutlicher hervor; sind beide gleich hell, so bilden sie eine einzige gleichmäßig beleuchtete Fläche.

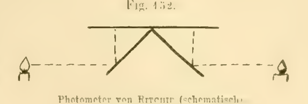
CONROY (39) stellt zwei Papierschirme — für jede Lichtquelle einen — in demselben Winkel zur Richtung der Sehlinie so auf, dass der eine den anderen teilweise deckt. Durch entsprechendes Verschieben der Lichter gelingt es, beide Schirme gleich hell erscheinen zu lassen.

RITCHIE (4) beleuchtet die Schirmhälften nicht direkt, sondern reflektiert die Lichtstrahlen auf sie mit Hilfe zweier Spiegel, die an der unteren Fläche des Schirmes, einer durchscheinenden, horizontal gestellten Glasplatte, unter einem Winkel von 90° zusammenstoßen. Man kann so die Lichtquellen bei der Regulierung der Helligkeit in einer Geraden verschieben. Bringt man an die Stelle der Spiegel ein rechtwinkliges, mit der brechenden

Kante nach oben gerichtetes Prisma und macht die beiden Kathetenflächen durch Bekleben mit weißem Papier oder durch Mattschleifen undurchsichtig, so stellen diese Flächen direkt die Beleuchtungsfelder dar: die horizontale Platte wird dadurch unnötig.

Als Bewegungsbahn für die Lichtquellen und den photometrischen Apparat hat man die Photometerbank konstruiert. Die Verschiebung auf derselben erfolgt mittelst Rollen oder kleiner Wagen.

Fig. 152.



Photometer von Ritchie (schematisch).

Gleichzeitig mit Bouguer's Instrument wurde von Lambert (2) das sogenannte Schattenphotometer angegeben, meist unter der Autorschaft Rumford's bekannt. Auf einer senkrecht gestellten, undurchsichtigen, weißen Fläche entwerfen die beiden in Vergleich stehenden Lichter von einem Stabe zwei Schatten. Das eine wird so lange verschoben, bis beide Schatten gleich hell sind, also jeder von ihnen durch die andere Lichtart in der relativ gleichen Stärke beleuchtet wird. Es empfiehlt sich wieder, die beiden Schatten miteinander in Berührung zu bringen. Allerdings wird auch hier, ebenso wie bei den Beleuchtungsfeldern im Foucault'schen Photometer, die Grenze keine scharfe sein, sondern die Vergleichsfelder gehen allmählich ineinander über.

Sollen die Messungen mit dem Rumford'schen Photometer Anspruch auf Genauigkeit erheben, so lasst sich die gesuchte Intensitat nicht ohne weiteres nach dem Kepler'schen Gesetze berechnen. Bedingung ist vielmehr, dass beide Strahlenbündel den Schirm unter dem gleichen Winkel treffen. Dazu muss, worauf Kruss (56) aufmerksam macht, die Bahn der bewegten Lichtquelle eine Kurve beschreiben.

Der Unterschied zweier Lichtintensitäten lässt sich ferner ausgleichen und bestimmen, indem man die Helligkeit der von ihnen bestrahlten Flächen selbst ändert. Dienen als solche zwei Masson'sche Scheiben, so fügt man der heller erscheinenden allmählich einen immer breiteren schwarzen Sektor hinzu, bis beide Scheiben den gleichen Eindruck hervorrufen. Auf diesem Prinzipe fußen die photometrischen Methoden von Talbot, Babinet, Secchi u. a. (vgl. E. Landolt, Photometrie, 1. Aufl. dieses Handb. Bd. III und Landolt et de Wecker, Traité complet d'Ophth. T. I. Paris 1879).

§ 85. Auf der Vergleichung der Helligkeit von durchfallendem und auffallendem Licht basiert Bunsen's Fettfleckphotometer. Als Medium dient ein Papierschirm mit einem scharf umgrenzten Fettfleck in der Mitte. Bei durchfallendem Licht erscheint der Fleck hell auf dunklem Grunde, da er die Strahlen erheblich leichter durchlässt als das übrige Papier. Dieses reflektiert dagegen das auffallende Licht größtenteils und der Fleck hebt sich jetzt von seiner Umgebung als dunkle Scheibe

ab. Wird der Schirm von beiden Seiten her gleich stark beleuchtet, trifft ihn also auffallendes und durchfallendes Licht von gleicher Intensität, so erscheint er in seinem gefetteten und nicht gefetteten Teile gleich hell, der Fleck verschwindet. Ein so präparierter, senkrecht stehender Schirm wird bei dem Bunsen'schen Photometer auf der Bank zwischen den Lichtquellen verschoben, bis bei etwas seitlicher Betrachtung der Fettfleck nicht mehr sichtbar ist.

In keiner Stellung des Schirmes verschwindet der Fleck auf beiden Seiten, infolge der Absorption des Lichtes durch den Schirm, die für gefetteten und nicht gefetteten Teil, also für durchgehendes und reflektiertes Licht verschieden stark ausfällt. Sucht man aber diejenige Stellung auf, bei der der Helligkeitskontrast für beide Seiten, unter demselben Winkel betrachtet, möglichst gering ist, so lässt sich ein sehr genaues Resultat erzielen. Aus dem ursprünglichen »Gleichheitsphotometer« ist damit ein »Kontrastphotometer« geworden.

Auch kann man zu einer genauen Messung für die eine Schirmseite die gleiche Helligkeit zwischen Fleck und Umgebung herstellen, dann für die andere, und aus den — unter demselben Beobachtungswinkel — gefundenen Größen das Mittel nehmen. Oder endlich: man bringt auf die eine Seite des Schirmes ein gleichmäßig helles Licht und beleuchtet die andere Seite mit den beiden zu vergleichenden Lichtarten nacheinander, bis jedesmal der Fleck verschwindet. Das Verhältnis der gefundenen Entfernungen ergiebt dasjenige der beiden Lichter.

Um beide Seiten des Schirmes gleichzeitig übersehen zu können, hat Rüdorff (18) diesen in die Halbierungslinie des Winkels gebracht, den zwei Spiegel miteinander bilden. Da der Fettfleck jedoch der Berührungskante der Spiegel nicht zu nahe liegen darf, damit diese ihn oder seine Umgebung nicht beschatten, so stehen die Bilder der beiden Fleckseiten weit auseinander, was die Genauigkeit des Vergleiches beeinträchtigt. v. Hefner-Alteneck (s. Krüss l. c.) ersetzte deshalb die Spiegel durch zwei achromatische Prismen vor dem Schirme. Die Bilder der Vergleichsfelder grenzen so unmittelbar aneinander. Krüss (44) erreicht dasselbe durch Reflexionsprismen.

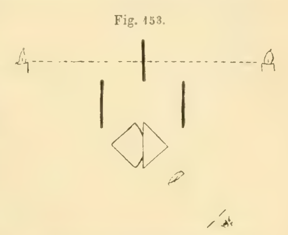
Die Präcision der Messungen mit dem Fettfleckphotometer hängt sehr wesentlich von der Beschaffenheit des Schirmes ab. Leonh. Weber (60) berechnete jene auf nur $^1/_4$ bis $^1/_2$ des Erreichbaren bei der üblichen Konstruktion. Meist sind beide Schirmseiten nicht gleich; schon darum empfiehlt es sich, jede Messung mit Vertauschen beider zu wiederholen. Der Vergleichsapparat ist zu diesem Zwecke drehbar. Der Schirm soll aus mattem, undurchsichtigem, weißen Karton bestehen, der Fettfleck möglichst gut transparent und scharf begrenzt sein. Leider ist die Einrichtung auf die Dauer nicht unveränderlich.

Hesehus (69) bringt auf dem Schirme seines sonst nach Art des Bunsen'schen gebauten Photometers drei nebeneinanderstehende kleine Fettflecke an. Der Schirm bildet mit der Verbindungslinie der Lichtquellen einen Winkel von 45° und wird durch eine zu ihm senkrecht gerichtete Röhre betrachtet. Bringt man den mittleren Fleck zum Verschwinden, so erscheint der eine der beiden anderen etwas heller, der zweite etwas dunkler als der Grund. Der simultane Kontrast soll den gewöhnlichen Beobachtungsfehler vermindern.

Rowland's (94) Helligkeitsmesser für Glühlampen ist ebenfalls ein Fettfleckphotometer; ein Rheostat gestattet, bei verschiedenen Stromstärken zu untersuchen.

Lummer und Brodhun (70) konstruierten, gleichfalls nach dem Prinzipe des Vergleiches von durchfallendem mit reflektiertem Licht, ein unveränderliches Photometer, das überdies alle Vorzüge des Fettfleckphotometers in sich vereinigt. Den senkrecht zur Photometerbank gerichteten Schirm stellen zwei Papierblätter dar, die ein Staniolblatt zwischen sich fassen oder eine Gypsplatte, bezw. eine mattweiß angestrichene Metallscheibe. Das von den beiden Schirmseiten diffundierende Licht wird durch zwei Spiegel auf je eine Kathetenfläche zweier rechtwinkligen Prismen geworfen. Die Hypotenusenfläche des einen bildet eine Sphäre, die, an ihrem Scheitel abgeschliffen, hier der Hypotenusenfläche des anderen Prisma luftdicht anliegt. Der Untersucher blickt durch eine Lupe senkrecht zu der zweiten Kathetenfläche des letzteren Prisma und ist auf dessen Hypotenusenfläche eingestellt. Die Strahlen, die von dem auf der Seite dieses Prismas stehenden Spiegel kommen, werden direkt in das Auge geworfen; die von dem anderen Spiegel zurückgeworfenen gehen, soweit sie auf die Berührungszone beider Prismen fallen, durch und gelangen ebenfalls ins Auge des Beobachters, alle übrigen reflektiert die gewölbte Partie der Hypotenusenfläche vollkommen. Es erscheint also, wenn die beiden Lichtquellen ungleich stark sind, ein helles Feld auf dunklem Grunde oder ein dunkles in heller Umgebung; bei gleicher Intensität der Lichter eine gleichmäßig helle Fläche.

Fig. 153.



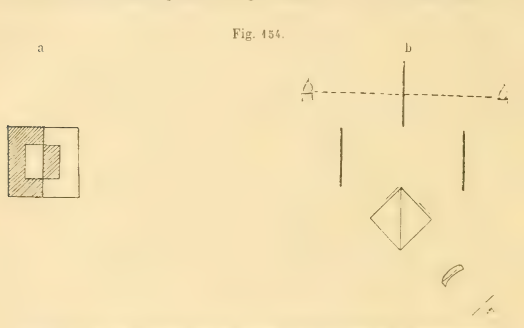
Lummer-Brodhun'sches Gleichheitsphotometer (schematisch).

Klein (47) arbeitete mit einem Photometer, in dem der Bunsen'sche Schirm ersetzt war durch drei aufeinanderliegende, mit dünnem Papier beklebte Glasplatten. Der Papierüberzug hatte bei allen drei Platten in der Mitte einen Ausschnitt, jedoch von abgestufter Größe. Die Glasscheibe mit dem kleinsten

Ausschnitt war der Lichtquelle von bekannter Intensität zugekehrt. Die Lichtstrahlen wurden so in der Umgebung der Öffnung für die erste Platte durch eine Papierlage abgeschwächt, für die zweite durch zwei und für diejenige mit dem größten Ausschnitt durch drei Lagen. Indem der Untersucher die Umgebung der verschiedenen Ausschnitte mit der unbedeckt gebliebenen Öffnung auf die gleiche Helligkeit brachte, konnte er sehr verschieden große Intensitäten zur Prüfung heranziehen.

Lummer und Brodhun (71) haben ihr Gleichheitsphotometer in ein Kontrastphotometer verwandelt, indem sie, bei im übrigen derselben Anordnung, zwei rechtwinklige Prismen auf der Hypotenusenfläche gegeneinander abschliffen. An einem der Prismen ist diese Fläche durch eine Gerade in zwei Hälften geteilt (s. Fig. 154a), und von der einen Hälfte die

Fig. 154.



Lummer-Brodhun sches Kontrastphotometer. a abgeschliffene Prismenfläche; b Gesamtanordnung (schematisch).

oberste Glasschicht in einem scharfbegrenzten Felde durch Sandaufblasen entfernt. Auf der anderen Hälfte ist ein ebenso gestaltetes, jenem symmetrisch gelegenes Feld intakt gelassen, hingegen die ganze übrige Fläche ihrer obersten Schicht beraubt. Beide Prismen werden dicht aufeinandergepresst. Die präparierten Felder reflektieren dann das Licht der einen Seite, die beiden durchsichtig gebliebenen lassen dasjenige der anderen Seite durch.

Alle vier Felder würden nun bei gleicher Helligkeit der Lichtquellen gleich hell erscheinen. Damit aber die mittleren sich von der Umgebung abheben, sind den Kathetenflächen, welche die Prismen den Spiegeln zukehren, zwei Glasplatten parallel vorgesetzt (Fig. 154b). Jede derselben bedeckt nur die Hälfte einer Kathetenfläche — die eine die der brechenden Kante,

die andere die der Basis benachbarte — und schwächt so die entsprechende Strahlengattung nur für das innere Feld. Der entstehende Kontrast entspricht genau dem seitens der Glasplatte verursachten Lichtverluste bei senkrechtem Auffallen der Strahlen. Will man einen stärkeren Helligkeitsunterschied erzielen, so stellt man schräg zu den Prismenflächen Glasplatten auf. Verringern lässt sich jener dadurch, dass man auch die andere Hälfte der Kathetenflächen mit Glasplatten versieht. Ein kleiner Apparat gestattet, den Helligkeitskontrast in ziemlich weiten Grenzen zu variieren.

Krüss (82) machte das Photometer von Lummer und Brodhun handlicher, indem er mittelst eines Reflexionsprimas die seitlich austretenden Strahlen in das Fernrohr des Instrumentes leitete; auch erleichterte er die richtige Einstellung der Lichtquellen durch Centrierungsscheibchen.

§ 86. Joly (52 und 65) und Elster (62) haben sogenannte Diffusionsphotometer angegeben, die aus zwei gleichen parallelepipedischen Stücken eines homogenen, durchscheinenden, das Licht in ihrem Innern diffus zerstreuenden Stoffes (Paraffin, Wachs, Stearin, mattes Glas und ähnlichem) bestehen. Ein dünnes spiegelndes Metallblatt ist zwischen die breiten Berührungsflächen der beiden Stücke gelegt. Auf die zu diesen senkrechten Schmalseiten blickt das beobachtende Auge.

Auch E. W. Lehmann's (75) Instrument ist ein Diffusionsphotometer. Das Licht wird hier durch zwei gleichschenklige rechtwinklige Prismen zerstreut, deren eine Kathetenfläche mattgeschliffen ist; mit der anderen sind sie, dem Beschauer zugekehrt, auf einer planparallelen Glasplatte aufgekittet, so dass die beiden Hypotenusenflächen einen rechten Winkel bilden und ihre Kanten sich fest berühren. Durch Drehen in einer Fassung können beide Hälften des Apparates abwechselnd jedem der Lichter dargeboten und etwaige Brechungsfehler ausgeglichen werden.

Im Bau sich an das Lehmann'sche anlehnend ist das Universalphotometer Blondel und Broca's (87) mit totalreflektierenden Prismen im Fernrohr für binokulares Sehen eingerichtet.

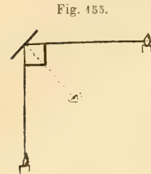
§ 87. Bei großer Helligkeitsdifferenz der zu vergleichenden Lichtquellen lässt sich die Intensität der stärkeren nicht durch Abrücken von der beleuchteten Fläche abschwächen; die Länge des Untersuchungsraumes würde nicht ausreichen. Auch ist die Lichtabsorption seitens der von den Strahlen durchlaufenen Luftschichten störend. Man hat daher noch auf andere Mittel gesonnen, die Lichtstärke messbar zu beeinflussen.

Nach einem photometrischen Grundgesetze ist die Intensität der Beleuchtung einer Fläche proportional dem Cosinus des Einfallswinkels der sie erhellenden Strahlen. Durch Vergrößerung oder Verkleinerung des Incidenzwinkels ist es also möglich, und Potter (5) hat dies zuerst bei

seinem Instrumente zur Lichtmessung verwertet, die Helligkeit der bekannten Lichtquelle in genau bestimmbarem Grade zu ändern, bis die beiden Vergleichsfelder gleich stark beleuchtet erscheinen.

Thompson (88) erbaute nach demselben Prinzipe ein Photometer mit rechtwinkliger Bank. In dem Scheitel des Winkels ist ein weißer Papierschirm aufgestellt, der zu den beiden gleichlangen Schenkeln dieselbe Neigung hat. An den Enden der Bank stehen die Lichter. Senkrecht zu den Längsachsen der beiden Bankhälften erhebt sich in einiger Entfernung von dem Scheitel je ein undurchsichtiger Schirm, halb so breit als der ersterwähnte, und dazu bestimmt, die Strahlen teilweise abzublenden, so dass jede Hälfte des weißen Schirmes nur von einer der Lichtquellen erleuchtet wird. Die Blenden lassen zwischen ihren vorderen Kanten einen Spalt frei, durch den das Auge auf den Photometerschirm blickt. Durch entsprechende Drehung dieses gelingt es, die Beleuchtung seiner beiden Hälften gleich zu machen.

Fig. 155.



Photometer nach Thompson (schematisch).

Ferner lässt sich die Abschwächung, die das Licht durch Refraktion und Reflexion an durchsichtigen Glasplatten erfährt, für den gedachten Zweck verwerten. Nachdem dies schon früher von Brewster (3), Quetelet (6) und Duwe geschehen, konstruierte Arago (6) ein solches Photometer, das die Ausführung genauer Lichtmessungen gestattet. Arago vergleicht die mittelst einer planparallelen Glasscheibe von durchfallendem und reflektiertem Lichte erhaltenen Bilder und stellt den Winkel fest, unter dem betrachtet die beiden Bilder gleich hell erscheinen. Um die durch Änderung dieses Winkels verursachte Schwächung des Lichtes beurteilen zu können, ist es notwendig, vorher festzustellen, wie sich das Verhältnis der durchgelassenen zu der gespiegelten Lichtmenge bei den verschiedenen Einfallswinkeln gestaltet. Hierzu giebt Arago ein besonderes Verfahren an. Sein Instrument und dessen Anwendung findet sich bei Helmholtz (Handbuch der physiol. Optik. 2. Aufl. S. 475) des näheren beschrieben.

Vor allem hat man versucht, durch lichtabsorbierende Mittel eine Helligkeitsverminderung der stärkeren Lichtquelle zu erzielen. Man ließ die Strahlen durch eine gefärbte Flüssigkeit gehen, die in eine Röhre gefüllt war; die Höhe der Flüssigkeitssäule und damit der Grad der Lichtabschwächung konnte beliebig variiert werden (Stevenson, Mesnard 76). Auch schaltete man hohle Glasprismen ein, die eine solche Flüssigkeit enthielten (Hähnlein 31) oder benutzte massive keilförmige Stücke aus Milch- oder Rauchglas (Sabine 27, Pickering 35). So lässt sich die absorbierende Schicht den Lichtstrahlen in verschiedener Dicke darbieten.

Um die prismatische Wirkung einer solchen Vorrichtung aufzuheben, wurde ein absorbierendes Prisma mit einem entgegengesetzt gerichteten, durchsichtigen kombiniert (DE MAISTRE 9, SMEE 10) oder auch zwei lichtschwächende in derselben Weise vereinigt (QUETELET l. c.).

Endlich sind noch mattgeschliffene oder Milchglasscheiben, Papierschirme, Hornplatten u. ähnl. zur Verminderung der Helligkeit in Gebrauch.

Selbstredend erscheint es erforderlich, vor der Anwendung dieser Medien ihr Absorptionsvermögen zu bestimmen, das übrigens für alle Arten von Lichtstrahlen möglichst das gleiche sein muss. Dieser letzteren Forderung genügen einzelne der angeführten Photometerarten nicht, z. B. wenn die Abschwächung des Lichtes durch farbige Glassorten geschieht.

Zur Prüfung des Absorptionsvermogens durscheinender Medien hat AUBERT (16) die Methode der gleichen Schatten angewandt, wie sie das Prinzip des RUMFORD'schen Photometers darstellt. Er nahm jedoch zwei gleich starke Lichtquellen und brachte vor die feststehende das auf seine Absorption zu prüfende Glas.

Fig. 156.

AUBERT's Episkotister.

Zu dem gleichen Zwecke benutzte AUBERT den Episkotister (Fig. 156), eine Kombination zweier drehbarer, geschwärzter Messingscheiben, deren jede vier, je einem Oktanten entsprechende Ausschnitte aufweist. Letztere konnen durch Übereinanderschieben der koncentrischen Scheiben beliebig verändert werden. Lasst man die beiden Scheiben sich schnell drehen, so wird, je nachdem die Öffnungen auf größere oder geringere Breite eingestellt sind, mehr oder weniger Licht durchgelassen und die Kombination als eine heller oder dunkler graue Fläche erscheinen. Wenn man dann einen weißen Hintergrund abwechselnd durch den Episkotister und das zu untersuchende Objekt hindurch betrachtet, so ist es nicht schwierig, durch passende Änderung der Ausschnitte die beiden

scheinbaren Helligkeiten einander gleich zu machen. Beträgt die Breite des freigebliebenen Abschnittes n^0, so ist die Größe der Gesamtöffnung des Episkotisters $= 4\,n^0$. Das prozentuale Verhältnis des durchgelassenen Lichtes zu der Helligkeit des weißen Hintergrundes drückt sich durch die einfache Formel aus:

$$4\,n : 360 = x : 100$$

$$x = \frac{400\,n}{360}$$

$$x = \frac{10\,n}{9}.$$

x bezeichnet ebenso die Prozentzahl der durch den Episkotister gegangenen als auch der von dem zu prüfenden Medium durchgelassenen Lichtmenge, woraus sich das Absorptionsvermögen dieses von selbst ergiebt.

Es empfiehlt sich (A. Lehmann 66), bei dieser Absorptionsbestimmung einen undurchsichtigen Schirm mit zwei Öffnungen vor die beiden Vergleichsobjekte zu schieben, so dass das durchscheinende Medium hinter der einen, der Episkotister hinter der anderen Öffnung sichtbar wird.

Nach Pfaundler's Vorschlag hat der Episkotister auch mehrfach (Hammerl 32, Guthrie 20) zur Helligkeitsverminderung beim Photometrieren gedient. Die Strahlen der beiden Lichtarten treffen von derselben Seite her je eine Öffnung in einem undurchsichtigen Schirm unter dem gleichen Einfallswinkel; hinter das heller erscheinende Loch wird der Episkotister gesetzt. Durch eine allerdings etwas komplizierte Anordnung (84) ist es sogar möglich, die lichte Weite der Episkotisterausschnitte während der Rotation allmählich zu variieren.

Terry (77) fand, dass bei Verwendung einer rotierenden Scheibe mit Sektorenausschnitten das Verhältnis der durchgehenden zu der ganzen auf die Scheibe auffallenden Lichtmenge nicht gleich sei demjenigen zwischen der Summe der Ausschnitte und der ganzen Scheibe, die bezeichnete Helligkeit falle vielmehr zu gering aus. Der Fehler, im allgemeinen zu vernachlässigen, nimmt, wenn der Gesamtausschnitt gering wird, schnell zu.

Weiterhin wurden dichte Drahtnetze in den Strahlenverlauf eingeschaltet, deren lichtschwächende Wirkung umgekehrt proportional der Größe der Öffnung in dem Geflechte zu setzen ist (Simonoff 48), oder man ließ das Licht durch spaltförmige oder runde Öffnungen von verstellbarer Weite auf einen diffundierenden Schirm fallen; dieser diente dann als Vergleichsfeld (Crova 41 u. a.). Auch hat man es durch achromatische Objektive gehen lassen und davor solche Blenden oder Aubert'sche Schieber (s. Aubert l. c. S. 44) gesetzt (Cornu 40).

Von Ayrton und Perry (22) ging der Vorschlag aus, die lichtabschwächende Wirkung der Zerstreuungslinsen für die Photometrie zu benutzen. Da die Dispersionskraft dieser Linsen die von einer Lichtquelle kommenden Strahlen über eine größere Fläche verteilt, wird jede Einheit

dieser Fläche weniger hell beleuchtet, als wenn sie von dem geschlossenen Strahlenbündel getroffen würde.

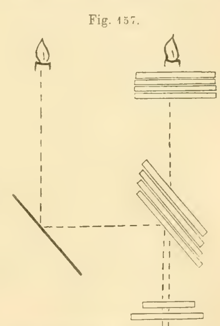
Eine Einbuße an Helligkeit durch Reflexion und Absorption seitens der Linse lässt sich, wie Voller (30) gezeigt, durch Einschalten planparalleler Glasplatten zwischen Normallicht und Photometerschirm ausgleichen.

§ 88. Eine besondere Gruppe bilden die Photometer, bei denen die Variation der Beleuchtung mit Hilfe der Polarisation geschieht.

Arago (13) hat den Gebrauch Nikol'scher Prismen in die Photometrie eingeführt. Bernard (9) und Beer (7) warfen bei ihren Polarisationsphotometern die Strahlen beider Lichtquellen durch je ein solches Prisma ins Auge, so dass die Beleuchtungsfelder aneinandergrenzten. Durch Drehen des entsprechenden Nikol erhielten die Felder gleiche Helligkeit. Zöllner (12) beschickt die durch eine Röhre betrachtete beleuchtete Fläche zur einen Hälfte mit dem polarisierten Lichte einer bekannten, zur anderen mit dem dazu senkrecht polarisierten der zu untersuchenden Lichtquelle. Das Flächenstück wird durch zwei davor gestellte Nikol'sche Prismen betrachtet, deren Drehung in entgegengesetztem Sinne auf die Stärke beider Helligkeiten wirkt.

Babinet (8) leitet die Strahlen der Lichter in die Schenkel einer sich gabelnden Röhre; ein an der Teilungsstelle der Röhre eingeschalteter Satz von Glasplatten lässt das Licht des einen Schenkels zum Auge hin durchgehen, reflektiert dasjenige des anderen und polarisiert beide senkrecht zu einander. Der Untersuchte blickt durch eine Soleil'sche Doppelplatte. Die Gesichtsfeldhälften erscheinen komplementär gefärbt, solange die Intensitäten beider Lichtquellen ungleich sind. Entfernt man das stärkere Licht von der Platte und dem Auge, so zeigt das Verschwinden der Farbe die gleiche Helligkeitswirkung an.

Fig. 157.



Wild's Polarisationsphotometer (schematisch).

Das Polarisationsphotometer von Wild gestattet einen Rückschluss auf die gleiche Intensität zweier Helligkeiten, wenn diese, senkrecht zu einander polarisiert, und durch ein Savart'sches Polariskop betrachtet, keine Interferenzstreifen aufweisen. Bei der ursprünglichen Form des Wild'schen Photometers (11) geschieht die Polarisation des einen Lichtes so, dass die Strahlen zwei Sätze von Glasplatten durchlaufen, während diejenigen des anderen auf den zweiten

Glassatz durch eine diesem parallele Glasplatte geworfen, von dort wieder reflektiert und so vollständig polarisiert werden, und zwar senkrecht zu der ersten Strahlenart. Beide zusammen gehen dann gemischt durch eine senkrecht zur Achse geschnittene Kalkspatplatte und einen Turmalin. Die Intensität des erstgenannten Lichtes lässt sich durch Drehen des ihm benachbarten Glassatzes abschwächen, bis der Beobachter in dem Kalkspat keine Interferenzerscheinungen mehr wahrnimmt.

Später hat Wild (15) sein Instrument in folgender Art abgeändert: Durch zwei rechtwinklige Reflexionsprismen bringt er die Bilder beider Lichtquellen in Berührung. Das Licht passiert ein drehbares Foucault'sches Polarisationsprisma, dann ein Kalkspatrhomboëder, und wird durch ein Nikol'sches Prisma in das Auge des Beobachters geworfen. So werden die beiden senkrecht zu einander polarisierten Strahlenbündel zur Deckung gebracht, und da ein jeder dieser Strahlen durch das Rhomboëder in zwei Hälften von gleicher Helligkeit zerlegt wird, so lässt sich aus der Gleichheit der Bestandteile des gemischten polarisierten Lichtes auf die gleiche Helligkeit der Lichtquellen schließen. Die erstere aber wird aufgedeckt durch eine zwischen Nikol und Kalkspatrhomboëder geschobene Savart'sche Doppelplatte, bei gleicher Helligkeit verschwinden die Interferenzstreifen.

Wild (61) stellte ferner ein Polarisationsphotometer in etwas einfacherer Konstruktion her: Die Lichtquellen erhellen diffus zwei Flächen, welche die Strahlen durch je einen Nikol unter dem Polarisationswinkel auf einen Satz von Glasplatten werfen. Das Licht, das den einen Nikol passiert, geht durch den Glassatz hindurch, das von dem anderen herkommende wird reflektiert, und beide Lichtarten gelangen in ein Polariskop und damit ins Auge. Eines der Prismen steht unter einem Winkel von 45° zur Ebene der Prismenachsen; durch Drehung des anderen werden die Interferenzstreifen ausgelöscht.

Dieselbe Anordnung hat Wild (68) auch so eingerichtet, dass die Lichtquellen auf der Photometerbank Aufstellung finden können.

F. Fuchs' (24) Photometer basiert ebenfalls auf dem Verschwinden der Interferenzstreifen. Er bringt zwei rechtwinklige, total reflektierende Prismen, mit ihrer Hypotenusenfläche einander zugekehrt, so nahe zusammen, dass Interferenzstreifen entstehen. Die beiden Lichtquellen haben je einer Kathetenfläche gegenüber ihren Platz. Durch Abschwächen des einen Lichtes gelingt es, die Interferenzstreifen auszulöschen. Neuerdings wurde dies Prinzip von Lummer (101) wieder aufgenommen.

Bei dem Polarisationsphotometer von Martens (93) dringen die Strahlen der zu vergleichenden Lichter durch zwei nebeneinander liegende Öffnungen in das Instrument ein und durchlaufen ein Objektiv, ein Wollaston'sches Kalkspatprisma, ein Zwillingsprisma, einen Nikol und endlich die beiden Linsen eines Ramsden'schen Okulares. Das Kalkspatprisma

polarisiert die Strahlen senkrecht zu einander, durch Drehen des Nikol gelingt es, die Intensität messbar abzuschwächen, das Zwillingsprisma lässt bei der Einstellung auf gleiche Helligkeit die Vergleichsfelder völlig ineinander übergehen. Während das Instrument in dieser Anordnung seinen hauptsächlichsten Zweck erfüllt, ganz oder teilweise polarisiertes Licht zu untersuchen, wird für die Messung der absoluten Werte von Lichtmengen vor die eine der beiden Öffnungen als Vergleichslicht eine kleine Glühlampe eingeschaltet, die durch ein Reflexionsprisma und eine Milchglasscheibe diese Öffnung erhellt. Die zu untersuchende Lichtquelle schickt ihr Licht zu einer der anderen Öffnung vorgeschobenen Milchglasplatte, die einen bestimmten Bruchteil desselben durchlässt.

§ 89. Vergleicht man zwei Lichteindrücke — z. B. von zwei rotierenden Scheiben —, die in ihrer Helligkeit nicht genau übereinstimmen, in raschem Wechsel miteinander, so tritt für das beobachtende Auge ein Gefühl des Flimmerns oder Flackerns auf; das Flimmern schwindet, sobald die Lichter gleich hell gemacht werden. Diese Erscheinung hat Rood (78 und 85) zur Konstruktion eines Flackerphotometers geführt. Er stellte sich eine große Zahl von Scheiben her, welche, von möglichst reinem Weiß bis zum tiefsten Schwarz, die verschiedensten Helligkeitsstufen aufwiesen. Die Helligkeit irgend einer anderen Scheibe ließ sich dann leicht dadurch bestimmen, dass die dazu passende graue Scheibe herausgesucht wurde, die mit jener bei der Rotation kein Flimmern hervorrief. Um nun nach demselben Prinzipe zwei Lichter auf ihre gleiche Intensität zu prüfen, lässt man zwei Scheiben von derselben Helligkeit miteinander rotieren und beleuchtet jede mit einer der beiden Lichtarten.

Die Einrichtung eines solchen Flackerphotometers gestaltet sich nach Frank und Withmann (80) folgendermaßen: Auf einer Photometerbank stehen zwei Scheiben in spitzem Winkel zu einander. Die eine, von dem bekannten Licht bestrahlt, ist drehbar und besteht aus einem kreisrunden weißen Karton, von dessen halbem Umkreis ein mehrere Centimeter breiter Saum weggeschnitten ist. Die andere Scheibe, weiß oder gefärbt, und von dem zu untersuchenden Lichte erhellt, berührt mit ihrer vorderen Kante die Peripherie der ersteren gerade, wenn diese ihr ihre kleinere Hälfte zukehrt. Auf diese Berührungsstelle beider Kartons blickt das beobachtende Auge durch ein Rohr: es sieht die von der zu bestimmenden Lichtart erhellte Fläche also nur dann, wenn die drehbare Scheibe die geschilderte Stellung hat; bei einer Rotation derselben um 180° wird die erstere durch den überstehenden Saum der größeren Scheibenhälfte verdeckt. Bei schneller Drehung taucht sie in raschem Wechsel auf und verschwindet wieder.

Rood (97) ließ auch die beiden Lichter auf die Kathetenseiten eines aufrecht gestellten rechtwinkligen Prismas fallen, vor dem eine Plankonkav-

cylinderlinse schwang, die Achse im Ruhezustande parallel zur Prismenkante gerichtet. Auf diese blickt man durch das Beobachtungsrohr. So gelangen die von den beiden Prismenseiten reflektierten Lichter abwechselnd ins Auge.

Während Rood angiebt, dass die Farbe der verglichenen Scheiben ohne Bedeutung für die Zuverlässigkeit des Resultates sei, sah Krüss (83) bei verschiedener Färbung das Flimmern nie völlig verschwinden. Er fand auch, dass das Auge bei der Methode sehr leicht ermüdet.

S. P. Thomson (79) macht darauf aufmerksam, dass die Empfindlichkeit für die Helligkeit auf dem Photometerschirme erheblich gesteigert werde, wenn man den Schirm einem raschen Beleuchtungswechsel aussetzt. Er hat daraufhin sogenannte Vibrationsphotometer konstruiert, indem er entweder den Joly'schen Paraffinblock (s. o.) auf einer Feder befestigte oder die Helligkeit der Beleuchtungsfelder durch einen rotierenden Fächer mit schmalen Stäben periodisch variierte.

Wheatstone (cf. 56) vergleicht mit seinem Photometer die Helligkeiten mittelst der Nachbilder zweier in Bewegung befindlicher Leuchtpunkte. Der obere Rand eines cylinderförmigen Kastens, der einen Rotationsapparat enthält, ist an seiner Innenseite gezahnelt. Hier greift ein kleines Zahnrad ein, excentrisch auf einer horizontalen Scheibe befestigt, die durch den Rotationsapparat gedreht wird. Ebenfalls excentrisch sitzt diesem Zahnrad eine schwarze Scheibe auf, welche eine polierte Stahlkugel trägt. Die in Vergleich stehenden Lichtquellen werfen gleichzeitig ihre Strahlen von verschiedenen Seiten her auf die Kugel. Setzt man das Zahnrad in rasche Bewegung, so beschreiben die Reflexbildchen auf der Stahlkugel nebeneinander zwei geschlossene helle Kurven, deren Helligkeiten durch passende Entfernung des stärkeren Lichtes gleich gemacht werden.

§ 90. Ein Instrument, das zur Helligkeitsmessung des elektrischen Funkens dient und ebenso wie dasjenige Wheatstone's auf der Wirkung der Dauer eines Lichteindruckes auf der Netzhaut beruht, hat Masson (45) angegeben. Das Photometer wird dargestellt von einer drehbaren Scheibe aus schwarzen und weißen Sektoren, die bei der Rotation in gleichmäßigem Grau erscheint. Wird sie durch ein kurzdauerndes, genügend starkes Licht erhellt, so sieht man die Sektoren getrennt wie bei der ruhenden Scheibe. Schwächt man die Helligkeit ab, indem man etwa die Distanz zwischen Lichtquelle und Scheibe vergrößert, so bleibt bei einer gewissen Grenze jene Erscheinung aus. Auf diese Weise werden die Helligkeiten der zu untersuchenden Lichtquelle und des Vergleichslichtes nacheinander festgestellt und ihr Verhältnis ermittelt.

Pagliani's (59) "Reflexionsphotometer", ebenfalls zur Photometrie des elektrischen Funkens, lehnt sich im Prinzip an das Wheatstone'sche Instrument an. Lässt man die Strahlen einer Lichtquelle auf eine mit koncentrischen Ringen versehene Scheibe fallen, so werden auf dieser helle Sektoren sichtbar. Pagliani erleuchtet nun mit beiden zu vergleichenden Lichtquellen zugleich eine solche Scheibe. Es erscheinen dann zwei Sektorensysteme, die durch passendes Entfernen des stärkeren Lichtes auf dieselbe Helligkeit gebracht werden können.

Coglievina's (23) »Centigradphotometer« besteht aus einer weißen, undurchsichtigen Kugel, die von entgegengesetzten Seiten her durch die beiden Lichtarten getroffen wird. Falls diese in ihrer Helligkeit differieren, macht sich die Grenze ihrer Wirkungskreise als dunkle Linie kenntlich.

§ 91. Wie bereits erwähnt, ist eine genaue Beurteilung der Gleichheit zweier Helligkeiten, etwa zweier beleuchteter Flächenstücke, nur dann möglich, wenn beide dieselbe Farbe haben. Sehr häufig gilt es aber, eine Lichtart photometrisch zu bestimmen, die anders gefärbt ist als das Vergleichslicht. Man hat sich daher vielfach bemüht, den Farbenunterschied auszugleichen, zunächst indem man jede der Lichtarten durch ein der anderen ähnlich gefärbtes Medium, etwa eine Glasplatte, schickte. Wie H. Krüss (l. c.) mit Recht hervorhebt, ist ein derartiges Verfahren ungeeignet, weil der Lichtverlust in dem vorgeschobenen Medium nur selten auf beiden Seiten derselbe sein dürfte. Man müsste ihn also für beide Medien experimentell bestimmen und wäre damit wiederum genötigt, verschiedenfarbiges Licht auf seine Helligkeit zu vergleichen.

Crova (50) hat den Vorschlag gemacht, beide Lichtarten durch ein und dasselbe farbige Medium von derjenigen Strahlengattung zu betrachten, deren Helligkeitsverhältnis in den Spektren der Lichter das gleiche ist, wie das der Gesamtintensitäten. Letzteres lässt sich aber nicht genau feststellen, da die Lösung dieses Problems wiederum erst durch das ganze in Vorschlag gebrachte Verfahren angestrebt wird. Auch müsste die betreffende monochromatische Strahlengattung für jede der zu prüfenden Lichtarten erst ermittelt werden, und sogar für ein und dieselbe Lichtart würde sie sich bei verschiedenen Helligkeitsgraden ändern.

Macé de Lépinay (34) ging von dem Satze aus, dass zwei Körper von derselben Temperatur, aber verschiedenem Ausstrahlungsvermögen im dunklen Raume Licht von derselben Zusammensetzung ausstrahlen (E. Becquerel). Dieser Satz lässt sich auf alle gebräuchlichen Lichtquellen, die sämtlich durch feste, infolge ihrer hohen Temperatur glühende Teilchen gebildet sind, anwenden. Schickt man die Strahlen dieser Leuchtkörper durch gefärbte Medien, so stehen die Intensitäten der durchgehenden Strahlen, also auch die Intensitäten der entsprechenden, in den Lichtquellen enthaltenen Strahlenarten, zu einander sowohl, wie zu der Gesamtintensität in bestimmtem Verhältnis, und diese Beziehungen bleiben für alle Lichtquellen bei derselben Temperatur konstant und ändern sich gleichmäßig mit dieser. Macé de Lépinay ließ das Licht durch eine Schicht einer Eisenchlorid- bezw. Nickelchlorürlösung von bestimmter Koncentration und Dicke gehen, und stellte sich so eine rote und eine grüne Strahlenart dar. Wird die Intensität der ersteren mit R, die der letzteren mit G bezeichnet, und gebe J die

Gesamtstärke des Lichtes wieder, so haben $\frac{J}{R}$ und $\frac{G}{R}$ eine feste Beziehung zu einander:

$$\frac{J}{R} = f \cdot \frac{G}{R}.$$

Der Autor hat den Faktor f für eine Reihe von Lichtarten mit Hilfe der angegebenen Medien ermittelt und eine Formel gefunden, aus der sich, wenn der Wert für G und R in Bezug auf das Vergleichslicht festgestellt ist, derjenige für J leicht berechnen lässt.

Brücke (26 und 72) führt die Photometrie farbigen Lichtes mit zwei Bestimmungen aus. Zunächst reguliert er das farbige und das Vergleichslicht so, dass beide den gleichen Helligkeitseindruck hervorrufen. Dann folgt eine Bestimmung des Beleuchtungswertes, da für verschiedene Farben die gleiche Helligkeitsänderung die Sehschärfe anders beeinflusst als die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden i. e. den Lichtsinn (s. u.).

Zum ersteren Zwecke benutzt er einen Satz farbloser, homogener, rechtwinklig dreieckiger Glasplättchen, die so aufeinander geschichtet sind, dass ihre Hypotenusen sich alternierend kreuzen und eine Kathete dem Beschauer zugewandt ist. Die anderen, den Lichtquellen zugekehrten Kathetenseiten sind mit einer Papierschicht bedeckt, die das Licht diffundiert. Die Strahlen werden von der Hypotenusenfläche senkrecht zu der ersten Kathetenfläche hin reflektiert. Der Untersucher sieht demnach eine Anzahl horizontaler Streifen, die abwechselnd in dem Lichte einer der beiden Quellen erscheinen und durch Verschieben dieser gleich hell gemacht werden.

Um den Beleuchtungswert festzustellen, kittet Brücke zwei rechtwinklige Prismen mit einem geschwärzten Bindemittel aufeinander, in derselben Anordnung wie die Glasplättchen des eben beschriebenen Apparates. Die Kathetenflächen gegenüber den Lichtern werden mit einem gitterförmig durchsichtigen Gewebe überzogen, das von einer doppelten Lage Seidenpapier bedeckt ist. Die beiden Helligkeiten reguliert man so, dass die Sehzeichen für beide Seiten auf dieselbe Entfernung eben deutlich werden und wiederholt jede Bestimmung, indem man das Photometer um 180° dreht. Die Sehschärfe muss sorgfältig korrigiert sein.

Krüss (l. c.) hat den Gedanken erörtert, verschieden gefärbte Lichtarten nacheinander mit genau komplementären Medien zu vergleichen; das arithmetische Mittel beider Messungen soll dann das Verhältnis der Gesamtintensitäten ergeben. Er weist aber selbst darauf hin, dass dazu die Helligkeit des durchgelassenen Lichtes für beide Medien die gleiche sein muss, also zunächst wieder zwei verschiedenfarbige Lichter auf ihre Stärke zu vergleichen wären.

Um den Farbenunterschied der beiden Lichter wenigstens zum Teil auszugleichen, wählte Wybauw (54) einen eigenartigen Weg. Er erhellte das eine Beleuchtungsfeld des Photometers mittelst der stärkeren Lichtquelle und ließ auf das andere Feld mit Hilfe eines Spiegels einen beträchtlichen berechenbaren Bruchteil desselben Lichtes fallen; hierzu gab er dann von

den Strahlen des schwächeren Lichtes noch soviel, bis beide Flächenstücke gleich hell waren. Das eine Feld erscheint dann in einem Farbengemisch, dessen weitaus größte Komponente dieselbe Lichtart darstellt, wie sie die

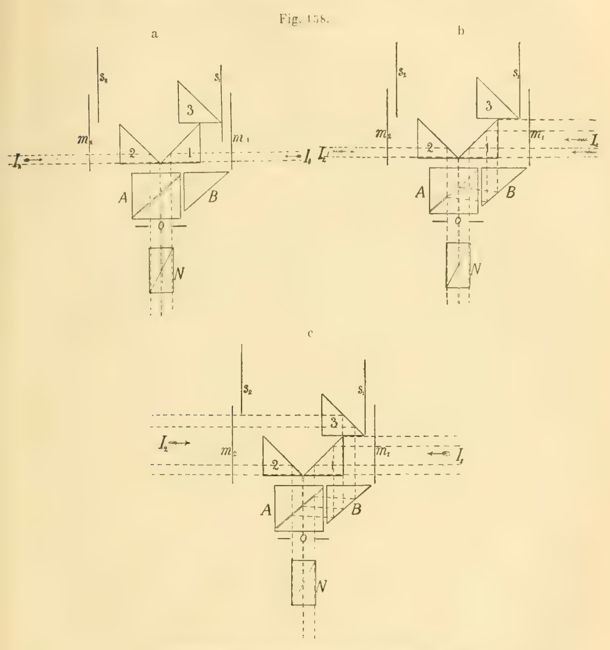


Fig. 158.

Mischungsphotometer von Grosse (schematisch nach H. Krüss).

Vergleichsfläche erleuchtet; die Farbendifferenz beider wird infolgedessen nur gering.

Während Wybauw diesem Kompensationsphotometer das Prinzip des Foucault'schen Lichtmessers zu Grunde legte, richtete H. Krüss (53) nach

derselben Idee ein Bunsen'sches Photometer mit Rüdorff'scher Spiegel- oder mit Prismenablesung ein. Diese Konstruktion hat den Vorzug, dass die mit dem Centrum des Photometerschirmes in einer Linie stehenden Lichtquellen ihren Platz beibehalten können und zur Ausgleichung der Helligkeiten nur der Schirm bewegt zu werden braucht.

Das Mischungsphotometer von Grosse (63 und 64) stellt ebenfalls ein Kompensationsphotometer dar. Die Anordnung ist im wesentlichen folgende (Fig. 158 a):

Die Strahlen der beiden Lichtquellen treffen auf zwei in die Seitenwände des Photometerkastens eingelassene matte Glasplatten (m_1 und m_2 und können hier durch Schieber (s_1 und s_2) teilweise abgeblendet werden. Treten die Blenden nicht in Wirkung, so fallen die Lichtstrahlen auf je ein Reflexionsprisma (*1* und *2*), das sie in ein Glan'sches Kalkspatprisma (*A*) ablenkt. Hier werden sie in zwei senkrecht zu einander polarisierte Teile gespalten: die ordentlichen Strahlen werden reflektiert, die außerordentlichen gelangen durch ein Nikol'sches Prisma (*N*) ins Auge. Das Instrument dient so als einfaches Photometer. Drehen des Nikol schwächt beide Helligkeiten gleichzeitig ab, da sie nur außerordentlich polarisiertes Licht enthalten. Sind jene sehr groß, so kann man sie also leicht auf den für eine genaue Messung möglichst günstigen Grad reduzieren. Auf dem gewöhnlichen Wege werden dann beide gleich gemacht.

Zieht man einen der Schieber aus, so wird Fig. 158b) nicht alles Licht der auf der gleichnamigen Seite befindlichen Quelle von dem Reflexionsprisma in das Glan'sche Prisma geworfen, sondern ein Strahlenbündel fällt auf ein neben diesem befindliches halbes Dove'sches Kalkspatprisma (*B* und wird hier in zwei senkrecht zu einander polarisierte Teile zerlegt. Die außerordentlichen Strahlen bleiben unwirksam, die ordentlichen werden zu dem Glan'schen Prisma hin reflektiert, und zwar auf dieselbe Stelle der Diagonalfläche desselben, durch welche das Lichtbündel der anderen Quelle geht. Mit diesem gemischt gelangt es dann zu dem Nikol, und beide beleuchten so gemeinsam die eine Hälfte des Gesichtsfeldes, während die andere nur von einer Lichtquelle her erhellt wird. Steht der Nikol auf dem Nullpunkt, so wird allein das außerordentlich polarisierte Licht durchgelassen, eine Drehung um 90° löscht dies aus und lässt nur die ordentlichen Strahlen passieren. Die Zwischenstellungen gestatten entsprechenden Bruchteilen beider den Durchtritt. So kann man einfach durch Drehen des Nikol das Mischungsverhältnis der Lichtarten beliebig gestalten.

Sind beide Schieber ausgezogen, so kommt Fig. 158c) eine doppelte Kompensation zu stande, indem zu dem eben beschriebenen Vorgang noch ein drittes Reflexionsprisma *3* in Aktion tritt, das, dicht hinter der Kombination der beiden totalreflektierenden gelegen, auch die Strahlen der anderen Lichtquelle auf das Dove'sche wirft. Von hier aus treffen sie die Diagonal-

fläche des GLAN'schen Prismas an der Stelle, wo das von dem ersten Licht herkommende Strahlenbündel durchgeht. Die Mischung wird so eine sehr ausgiebige. Dreht man jetzt den Nikol, so tritt, wenn die Intensität beider Lichtquellen die gleiche ist, auf beiden Seiten eine Helligkeitsänderung nicht ein. Das Ausbleiben einer solchen ist also umgekehrt ein Zeichen für die gleiche Stärke der Lichter.

Während sich bei dem — oben beschriebenen — Modus der teilweisen Kompensation der verschieden starke Lichtverlust auf den beiden Seiten der Kombination durch Einführen eines besonderen Faktors in die Rechnung ausdrücken muss, dessen Größe übrigens bei jedem Instrument angegeben ist, gestaltet sich, wenn die Entfernungen der Lichtquellen von der Mitte des Photometerkopfes mit l_1 und l_2 bezeichnet werden, für die doppelte Mischung das Intensitätsverhältnis einfach nach der Formel: $\frac{J_1}{J_2} = \frac{l_2^2}{l_1^2}$.

§ 92. Die bisher aufgeführten Photometer, das BRÜCKE'sche ausgenommen, dienen dazu, die Helligkeit einer Lichtquelle an sich zu messen. Nicht selten aber, so beispielsweise für hygienische Zwecke oder zur genauen Sehschärfebestimmung, kommt es darauf an, für eine Lichtart den Beleuchtungswert festzustellen, d. h. die Fähigkeit, ein Objekt für eine gewisse Entfernung in seinen Einzelheiten sichtbar zu machen. Da diese Fähigkeit den verschiedenfarbigen Lichtarten nicht in demselben Grade eigen ist (57, 74), so kann der Beleuchtungswert nicht einfach der Gesamtintensität parallel gesetzt werden. Er wird meist mit Hilfe der Buchstaben oder Zahlenproben gemessen, wie man sie bei der Sehschärfeprüfung gebraucht. Die Photometer, die diesem Zwecke dienen, sind nach einem der aufgeführten Prinzipien gebaut (STEVENSON, HÄHNLEIN, BRÜCKE, SIMONOFF [l. c. l. c.] u. a.).

LANDOLT (l. c.) verglich den Beleuchtungswert zweier Lichtquellen, indem er die beiden Enden eines SNELLEN'schen Metroskopes auf die erleuchteten Felder einstellte und durch das Okular Liniensysteme von allmählich abnehmender Dicke und Distanz nebeneinander betrachtete. Die Trennungslinie beider Felder steht hierbei genau der Pupillenmitte gegenüber.

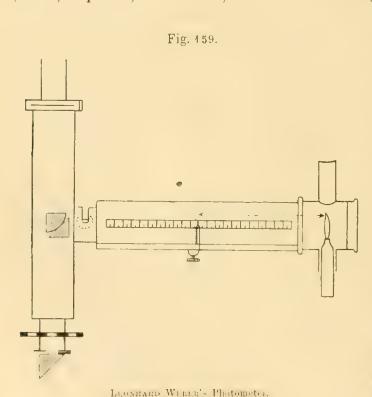
Es ist nicht unbedingt erforderlich, dass die beiden zu vergleichenden Flächen gleichzeitig gesehen werden, man kann sie auch rasch nacheinander betrachten. Denn, so betont LANDOLT mit Recht, der Eindruck der Formenwahrnehmung haftet viel länger als derjenige der Sichtbarkeit homogener Flächen, die sich nur durch ihre Helligkeit unterscheiden.

Die vergleichende Prüfung zweier Lichter auf Grund der Sehschärfebestimmung mit beiden Augen zugleich, in der Form, dass jedes Auge auf eins der Beleuchtungsfelder gerichtet ist, hat, wie LANDOLT ebenfalls hervorhebt, die völlige Gleichheit beider Augen zur notwendigen Voraussetzung.

Um den Beleuchtungswert einer durch Tageslicht erhellten Wand zu bestimmen, brachte Landolt auf derselben Sehproben an und stellte dicht daneben ein Förster'sches Photometer auf, in dessen Kasten sich die gleichen Proben befanden. Er betrachtete die beiden Gruppen von Sehzeichen wieder mittelst des Snellen'schen Metroskopes und variierte die Helligkeit der Wand mit Hilfe einer Kombination eines farblosen und eines schwarzen Prismas, wie sie Brewster benutzt hatte. War das Absorptionsvermögen der Stelle der Kombination bekannt, welche für die Sehproben auf der Wand dieselbe Sichtbarkeit ergab wie für die Zeichen in dem Photometerkasten, so ließ sich, die Helligkeit dieses als Norm genommen, diejenige der Wand durch einfache Subtraktion bestimmen.

Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, dass der Gedanke, die Helligkeitsmessung von Räumlichkeiten oder Arbeitsplätzen, an denen gewohnheitsmäßig an die Leistungen des Auges mehr oder weniger große Forderungen gestellt werden, durch die Prüfung der Sehschärfe vorzunehmen, von Herm. Cohn ausgegangen ist. Er hat auch durch Herstellung geeigneter Sehproben, durch kleine Apparate (Lichtprüfer u. a.) diesen Gedanken praktisch verwertet. Es blieb einer anderen Stelle dieses Werkes (Bd. X, Kap. XIX) vorbehalten, hierauf näher einzugehen.

Fig. 159.



Leonhard Weber's Photometer.

Leonhard Weber hat die Frage nach dem Beleuchtungswerte einer Lichtquelle besonders eingehend behandelt und ein Photometer konstruiert (37 und 49), das bei genügender Genauigkeit des Resultates gestattet, die Intensität eines Lichtes nicht nur, sondern auch die Helligkeit diffus beleuchteter Flächen an beliebiger Stelle im Raume sowie deren Beleuchtungswert zu messen, mag das Licht mit dem Vergleichslicht dieselbe Farbe haben oder anders gefärbt sein.

Die Einrichtung ist folgende: Ein horizontal gerichteter, feststehender Tubus ist an einem Ende mit einem zweiten Tubus rechtwinklig verbunden, der, um die Längsachse jenes drehbar, sich in jeder Stellung fixieren lässt.

Das andere Ende des horizontalen Rohres setzt sich in ein Gehäuse fort, in dem eine Benzinkerze brennt. Die Höhe der Flamme wird mittelst Drehen der Kerze reguliert und ist durch einen Spalt hindurch in einem Spiegel mit Millimeterskala abzulesen. Sie soll genau 20 mm betragen.

Zur bequemeren Einstellung der Flammenhöhe hat Krüss (91) einen Trieb angegeben; damit die Messung ohne Parallaxe möglich sei, schlug er vor, durch eine Linse ein umgekehrtes Bild auf eine in ein Mattglasscheibchen geätzte Skala zu entwerfen.

Das Kerzengehäuse ist durch eine Glasscheibe gegen den Tubus hin abgeschlossen. In diesem lässt sich ein Ring, der eine Milchglasplatte einfasst, durch Drehen eines Triebknopfes meßbar verschieben und so die Lichtstärke der Kerze in weiten Grenzen variieren.

In dem drehbaren Tubus befand sich ursprünglich ein Reflexionsprisma, dessen Kante das Gesichtsfeld des beobachtenden Auges in zwei Hälften zerlegte, deren eine nur Licht von der Benzinlampe empfing, während die andere von der zu untersuchenden Lichtquelle erhellt wurde. Das einfache Reflexionsprisma ist nunmehr durch ein Lummer-Brodhun'sches ersetzt. Es entstehen so im Gesichtsfeld zwei Zonen, eine mittlere, kreisrunde, die von der zu prüfenden Quelle beleuchtet, und eine periphere, ringförmige, die von dem Vergleichslicht versorgt wird. Bei jeder Neigung des beweglichen Tubus treffen die Strahlen senkrecht auf die Eintrittsflächen des Prismas.

Das Auge stellt sich auf dieses mittelst eines Okularfernrohres ein. Ein Schieber mit drei Ausschnitten, von denen einer offen ist, die beiden anderen mit einem roten bezw. grünen Glas versehen sind, gestattet, die Helligkeiten in ihrem eigenen oder in monochromatischem Lichte zu vergleichen. Vor das Okular kann man ein Reflexionsprisma klappen, zur bequemen Messung bei mehr steil gestelltem Tubus. Das andere Ende dieses erweitert sich in einen viereckigen Kasten, dazu bestimmt, Milchglasplatten von bekanntem Absorptionsvermögen aufzunehmen. Dem Kasten wird ein Abblendungsrohr aufgesetzt.

Will man eine Lichtquelle selbst untersuchen, die mit dem Vergleichslicht gleiche Farbe hat, so steckt man eine auf ihre Absorption geprüfte Milchglasplatte in den Kasten und verschiebt die in den Ring gefasste so lange, bis beide Zonen des Gesichtsfeldes gleich hell sind. Ist das Licht intensiv, so werden mehrere Platten vorgeschoben. Die gesuchte Helligkeit berechnet sich aus der Entfernung dieser Platten von der Lichtquelle, derjenigen der beweglichen Glasscheibe von dem Hilfslicht und einer Konstanten, die dem Absorptionsvermögen der benutzten Medien entspricht und auf einer dem Apparat beigegebenen Skale abzulesen ist.

Um die Helligkeit irgend einer Stelle des Raumes zu messen, der von einer dem Vergleichslicht gleichgefärbten Lichtart erhellt

ist, stellt man an jenem Orte in der gewünschten Neigung eine mattweiße Tafel auf, richtet den Tubus auf ihre Mitte und macht die Abschnitte des Beleuchtungsfeldes mit oder ohne Einschieben von Platten gleich hell. Auch kann man das Aufsatzrohr weglassen und statt dessen dem Tubus eine mattierte Milchglasplatte vorsetzen, die dann von dem diffusen Lichte in derselben Weise beleuchtet ist, wie es die Tafel war.

Damit, falls verschiedene Stellen eines Raumes hintereinander untersucht werden sollen, die Einstellung des Rohres auf die Tafel nicht immer wiederholt zu werden braucht, verband Krüss (l. c.) diese mit dem Stativ des Apparates, jedoch so, dass die Entfernung der Tafel variiert und diese beliebig gedreht und geneigt werden kann.

Für die Untersuchung einer von der Benzinkerze in der Farbe abweichenden Lichtart führt Leonh. Weber ähnlich wie Macé de Lépinay einen Faktor in die Rechnung ein, der das Verhältnis der durch den Beleuchtungswert ausgedrückten Gesamthelligkeit zu der Helligkeit eines monochromatischen Farbenkomplexes derselben wiedergiebt. Die Untersuchung setzt sich dementsprechend aus zwei Teilen zusammen. Der erste stellt eine Sehschärfebestimmung dar.

Der Faktor k ist kleiner als 1, falls das untersuchte Licht mehr rötliche Strahlen enthält als das Vergleichslicht, im anderen Falle wird er größer als 1. L. Weber hat gefunden, dass der Wert für k sich ändert analog dem Verhältnis $\frac{G}{R}$, der grünen zu der roten Quote des Lichtes. Er hat für bestimmte Lichtarten, u. a. für Tageslicht, den Wert für k aus dem Quotient $\frac{G}{R}$ als Mittel einer großen Zahl von Untersuchungen berechnet und in Tabellen zusammengestellt. Mit Hilfe dieser Tabellen vereinfacht sich die Untersuchung sehr. Die Vergleichung auf Grund der Sehschärfeprüfung fällt ganz fort. Es genügt, die Helligkeit der Lichtquelle in rotem und grünem Lichte zu bestimmen und zu dem Quotient $\frac{G}{R}$ in der Tabelle den Wert für den Faktor k aufzusuchen. Mit dieser Zahl braucht man nur die Größe R zu multiplizieren, um die Beleuchtungsstärke der Lichtquelle in Meterkerzen (s. u.) zu erhalten.

Immerhin ist zu berücksichtigen, dass die Bestimmung des Faktors k eine subjektive ist und bei verschiedenen Untersuchern verschieden ausfallen wird.

Gilt es, eine nur kurzdauernde oder in ihrer Intensität schwankende farbige Helligkeit mit dem Weber'schen Photometer zu messen, so lassen sich die Bestimmungen der Rot- und Grünquote, als zu zeitraubend, nicht ausführen. Verfasser (90) hat sich folgendermaßen geholfen: Zur wissenschaftlichen Sehschärfeprüfung sollten die Tageslichtschwankungen kontrolliert und wiederholt ein bestimmter Beleuchtungsgrad hergestellt

werden. Es wurde das Tageslicht zunächst wie rein weißes Licht behandelt, d. h. nach der einfachen Formel für die Messung weißen Lichtes die der gewünschten Helligkeit entsprechende Ziffer der Millimeterskala ausgerechnet und nach diesem Werte die Beleuchtung hergestellt. Letztere wurde darauf unter steter Kontrolle ihrer Beständigkeit in der Rot- und Grünquote gemessen und zugesehen, um wieviel das Resultat mit dem eben erhaltenen differierte. Durch Änderung der Plattenstellung bei der Berechnung für weißes Licht konnte die Differenz verringert und schließlich ausgeglichen werden. Man kam auf diese Weise zu einer Ziffer, auf welche der Zeiger der Skala nur eingestellt zu werden brauchte, um die Helligkeit des Vergleichslichtes entsprechend einer bestimmten Tagesbeleuchtung herzustellen. Soweit sich aus unseren Messungen schließen ließ, ist die erzielte Genauigkeit für solche Fälle eine genügende, gleichgültig ob der Himmel bewölkt ist oder nicht.

§ 93. Um kurzdauernde Helligkeiten zu messen oder um sich über die Lichtverteilung im Raume rasch zu orientieren, bedient man sich auch mit Vorteil des Helligkeitsprüfers von Wingen (102). Er besteht aus einem rechteckigen Kasten, dessen Boden über die eine Schmalwand etwas hinausragt. Hier ist ein weißer Kartonstreifen aufgeklebt, auf den das untersuchende Licht fällt. Auf dem Boden des durch eine Benzinlampe erhellten Kastens ist im Anschluss an die nämliche Schmalwand ebenfalls ein Stück Karton befestigt. Durch ein der Wand aufsitzendes Okular übersieht man von oben her beide Kartonstreifen zugleich, und zwar in rotem Lichte. Die Höhe der Benzinflamme ist regulierbar und wird an einer Skala abgelesen, die auf Grund von Tageslichtmessungen mit dem Weber'schen Photometer sogleich die Helligkeit der Flamme in Meterkerzen (s. u.) angiebt. Soll der Beleuchtungsgrad einer gewissen Stelle im Raume bestimmt werden, so stellt man den Kasten dort auf und reguliert die Flamme, bis die Vergleichsfelder gleich hell sind; will man etwa untersuchen wie weit im Raume ein Helligkeitsminimum vorhanden ist, so erzeugt man sich dies nach der Skala im Kasten und entfernt sich, in das Okular blickend, allmählich von der Lichtquelle, bis das innere Feld heller zu werden beginnt als das äußere. Auch das jüngst von Pfeiffer (103) angegebene Instrumentchen gestattet ein rasches Urteil über die Helligkeit eines Arbeitsplatzes. Man legt auf diesen ein weißes Blatt Papier und betrachtet es, den Tubus des kleinen Apparates darauf gerichtet, durch vier Öffnungen; drei kleine und eine etwas größere. Dann schiebt man nacheinander immer weniger lichtdurchlässige Medien in einer Drehscheibe vor, bis die drei kleinen Öffnungen eben unsichtbar werden, und liest auf einer Skala den nach dem Weber'schen Photometer bestimmten Helligkeitswert der Papierfläche ab.

§ 94. Die meisten Photometer sind so eingerichtet, dass die beiden Lichtquellen in der horizontalen Ebene der Photometerbank ihren Platz finden und nur die horizontalen Strahlen gemessen werden. Die wenigsten in Betracht kommenden Lichtarten entsenden aber das Licht nahezu gleichmäßig nach allen Richtungen. Sie müssen daher zur Feststellung ihres Helligkeitswertes unter den mannigfachsten Ausstrahlungswinkeln geprüft werden.

Es ist ein besonderer Vorzug des Leonh. Weber'schen Photometers, dass es den Untersucher von der Größe dieses Winkels unabhängig macht, da man den beweglichen Tubus beliebig neigen kann, ohne dass sich die senkrechte Stellung des Vergleichslichtes ändert. Diese Stellung aber ist, bei allen Flammenbrennern wenigstens, sehr wichtig, und es ist deshalb nicht praktisch, wenn (22), um anders als horizontal ausstrahlendes Licht zu messen, das ganze Photometer geneigt werden soll.

Man hat sich auch durch Reflexionsspiegel geholfen, die, um die horizontale und vertikale Achse drehbar, die Strahlen des zu prüfenden Lichtes in der optischen Achse des Instrumentes auf den Schirm reflektieren. Hierbei ist der Absorptionskoeffizient des Spiegels in Rechnung zu ziehen und der Lichtverlust infolge der Spiegelung zu dem gefundenen Werte zu addieren. Jenen erhält man, indem man das Helligkeitsverhältnis zweier beliebiger Lichtquellen einmal mit, dann ohne Spiegel bestimmt und die gefundenen Größen dividiert. Der Absorptionskoeffizient für Glasspiegel beträgt 0,7 bei allen in Betracht kommenden Reflexionswinkeln (22 und 56).

Durch diese Spiegelungen wird die Messung der Entfernung zwischen Lichtquelle und Photometer erschwert. Vorrichtungen (92, 99), bei denen die Spiegel mit der Lichtquelle auf einem Stativ fest verbunden sind, ersparen das jedesmalige Messen der Distanz; man kann diese beim Einstellen des Statives auf der Skala der Photometerbank ablesen.

Einem Vorschlage Hartley's (33) folgend, konstruierte Dibdin (12) ein Radialphotometer zur Helligkeitsmessung bei beliebigem Ausstrahlungswinkel. Er bringt die Ebene des Photometerschirmes in die Halbierungslinie des Winkels, den die zu untersuchenden Lichtstrahlen mit der Horizontalen bilden. Indem das Vergleichslicht seine Stellung auf der Photometerbank beibehält, werden die beiden Schirmseiten von den Strahlen der Lichtquellen unter dem gleichen Winkel getroffen.

Elster (62a) hat nach demselben Prinzipe sein Winkelphotometer gebaut. Auf der Photometerbank läuft ein kleiner Wagen mit einer graduierten Gleitbahn. An dem Nullpunkt dieser steht der um eine horizontale Achse drehbare Photometerschirm. Genau gegenüber der Schirmmitte gelegen, ist das Vergleichslicht in der Gleitbahn verschieblich. Über dem Nullpunkt einer an der Photometerbank angebrachten Skale wird in bestimmter Höhe die zu prüfende Lichtquelle aufgehängt. Die Teilung der Skale ist eine

doppelte: neben dem Längenmaß für die Distanz zwischen Nullpunkt und Schirm sind noch von dem Centrum des aufgehängten Lichtes zu der Photometerbank von 5° zu 5° geneigte Strahlen gezogen gedacht und deren Schnittpunkte mit der Bank markiert. Um unter einem bestimmten Ausstrahlungswinkel zu untersuchen, stellt man die Schirmstütze auf den mit der Zahl der Grade versehenen Punkt der Skala ein und giebt dem Schirme die dem halben Winkel entsprechende Neigung. Im übrigen ist das Verfahren das übliche.

Die Lichteinheiten.

§ 95. Es genügt nicht, die Helligkeit der zu prüfenden Lichtart in in ihrem Verhältnis zur Intensität des Vergleichslichtes festgestellt zu haben, man muss vielmehr beide auf eine Lichteinheit als Maß zurückführen, falls diese nicht eben durch das Vergleichslicht dargestellt wird. Bisher konnte man sich über ein solches Einheitsmaß nicht allgemein verständigen; keines der vorgeschlagenen entspricht allen Anforderungen.

Das Normallicht muss eine möglichst konstante Helligkeit besitzen und sich überall leicht und zuverlässig herstellen lassen; es darf in seiner Anwendung und Behandlung nicht zu kompliziert, der Preis ein nicht zu hoher sein. Außerdem kommt die Farbe des Lichtes in Betracht; sie wird am zweckmäßigsten die Mitte halten zwischen den Farbentönen der gebräuchlichsten Lichtarten.

Früher benutzte man zu diesem Zwecke fast ausschließlich Normalkerzen, vor allem die englische Walrathkerze. Sie sollte in der Stunde 7,77 g am Material verbrennen bei einer Flammenhöhe von 4,45 cm. Die deutsche Vereins-Paraffinkerze, nach genau (vom Verein der Gas- und Wasserfachmänner festgesetzten Vorschriften angefertigt, hat einen Durchmesser von 20 mm, ihre Flammenhöhe soll 50 mm betragen. Auch Stearin- und Wachskerzen von bestimmter Beschaffenheit waren in Gebrauch.

Die Helligkeit dieser Lichtquellen entspricht nicht genau dem Verbrauch an Brennmaterial, sie kann also auch nicht nach diesem beurteilt werden. Besser eignet sich hierzu schon die Höhe der Flamme.

Die Messung der Flammenhöhe wird nach dem Vorschlage von Krüss (l. c.) am besten im optischen Bilde vorgenommen, mit Hilfe eines mit Millimeterskale versehenen Spiegels, wie dies auch im Leonh. Weberschen Photometer geschieht, oder mittelst eines besonderen optischen Flammenmaßes, wie es Krüss l. c. konstruierte: In einer Hülse ist durch Trieb ein Rohr verschieblich, das vorn ein achromatisches Objektiv, hinten eine matte Glasscheibe mit Millimeterteilung einfasst. Die Distanz zwischen Glasplatte und Hauptpunkt des Objektives beträgt das Doppelte der Brennweite dieses. Ein zweiter Trieb bewegt die Scheibe in der Vertikalen, ein dritter den ganzen Apparat an dem Stativ in gleichem Sinne.

Die Entfernung der Kerze von dem Objektiv soll etwa der Länge des Tubus entsprechen.

Marten's (96) Flammenmesser für Hefnerlampen (s. u.) stellt ein mit der Lampe fest verbundenes rechtwinkliges Prisma dar, dessen Hypotenusenfläche sphärisch geschliffen ist, so dass ein reelles umgekehrtes Flammenbild über der Flamme selbst entsteht. Beide berühren sich mit ihren Spitzen, wenn die Dochthöhe reguliert ist. Ändert sich diese, so verschiebt sich das Flammenbild um die gleiche Größe in entgegengesetztem Sinne, so dass die Verschiebung der Spitzen gegeneinander stets das Doppelte der wirklichen Änderung der Flammenhöhe beträgt, also schon sehr kleine Unterschiede anzeigt.

Bei den Kerzen wechselt die Flammenhöhe und damit die Leuchtkraft so erheblich (u. a. Krüss l. c.), dass dieselben heutzutage als Einheitslicht nahezu verlassen sind.

In Frankreich hat die bereits im Jahre 1800 von Carcel angegebene Öllampe mit rundem Dochte und Cylinder auch jetzt noch die weiteste Verbreitung. Ein Uhrwerk am Fuße der Lampe führt das Kalzaöl zu, von dem in der Stunde 42 g verbraucht werden sollen. In der Höhe der Flamme hat der Cylinder eine Einschnürung, um jene mit der atmosphärischen Luft in möglichst innige Berührung zu bringen.

Der Carcelbrenner teilt mit allen Öllampen den Übelstand, dass die Lichtstärke in erster Linie von dem Dochte abhängig ist, dessen stets gleiche Beschaffenheit sich für die einzelnen Untersuchungen nicht verbürgen lässt.

Giroud (29) hat deshalb eine mit Leuchtgas gespeiste Lampe als Lichteinheit konstruiert, deren Helligkeit bei einer Flammenhöhe von 67,5 mm $^1/_{10}$ Carcel beträgt und mittelst eines Photorheometers konstant erhalten wird. Das Gas wird in einen Behälter geleitet mit runder Öffnung in der oberen Wand. In die Öffnung ragt, der Längsachse des Behälters entsprechend, eine nach oben konisch zulaufende Röhre hinein, wodurch jene zu einem ringförmigen Schlitz wird. Über den Behälter ist eine Glocke gestülpt, die mit der Röhre in fester Verbindung steht. Die Glocke und das untere Ende der Röhre schwimmen in einer Glycerinschicht. Das Gas strömt durch die ringförmige Öffnung in die Glocke und entweicht in den Brenner, der der oberen Wand aufgesetzt ist. Der Specksteinbrenner hat eine lichte Weite von genau 1 mm Durchmesser; der Druck, unter dem das Gas in der Glocke steht, bleibt mit demjenigen in dem Behälter, in den es zuerst einströmt, stets in ganz gleichem Verhältnis. Lediglich von der Druckdifferenz beider aber hängt, da ja die Öffnung dieselbe bleibt, die Menge des ausströmenden Gases ab; sie wird also eine konstante sein.

Wie Giroud glaubte festgestellt zu haben, sei eine Änderung der Zusammensetzung oder der Dichtigkeit des Gases ohne Einfluss auf die

Helligkeit, falls nur die Flammenhöhe dieselbe bleibe. UPPENBORN (67) wies jedoch nach, dass die Intensität des GIROUD-Brenners bei konstanter Flammenhöhe allmählich wachse. Die Luftbeimischung zu dem Gase ist also sehr wesentlich für die Helligkeit, und diese wird erst gleichmäßig, wenn eine ziemlich große Menge Gas aus der Leitung ausgeströmt ist.

Einen Vorläufer hatte die GIROUD'sche Einheit in dem von LOWE konstruierten Einlochbrenner mit Gaszuleitung unter konstantem Druck; auch hier galt die Höhe der Flamme als Maß für die Leuchtkraft.

Außer den genannten sind in Frankreich endlich noch die mit Gasolin gespeiste Pigeonlampe und auch wohl die Petroleumlampe als Normallicht im Gebrauch.

Die Walrathkerze ist in England selbst verdrängt worden durch die Pentangaslampe von HARCOURT (51), bei der die Lichteinheit ursprünglich von einem Gemisch aus 7 Vol. Pentangas — dem Destillat aus amerikanischem Petroleum bei 50° C. — und 20 Vol. Luft verwendet wurde. Das Gasgemenge soll einer Öffnung von 1/4 engl. Zoll Durchmesser entströmen und mit einer Flammenhöhe von 2 1/2" brennen. Seine Leuchtkraft ist dann gleich derjenigen der englischen Walrathkerze, und bleibt dieselbe, auch wenn die Komponenten des Gemisches nicht genau in dem geforderten Verhältnis zu einander stehen. HARCOURT hat später seiner Normallampe eine einfachere Konstruktion in der Form gegeben, dass lediglich Pentandämpfe, ohne Luftzusatz, zur Verbrennung gelangen. Dazu wird flüssiges Pentan benutzt, das ein Docht in eine Dochtröhre leitet. Der Docht selbst endigt 2—3" unterhalb der oberen Röhrenmündung. Die Wärme der Flamme selbst soll die Überführung des leicht flüchtigen Brennmaterials in den gasförmigen Zustand bewirken, nachdem zunächst das Dochtrohr angewärmt worden ist. Die Flamme ragt in einen etwas oberhalb des Rohres angebrachten Schornstein hinein, wodurch sie ruhiger und weißer brennt; zugleich wird auf diese Weise nur der mittlere Teil derselben zur Beleuchtung benutzt.

Da die von der Flamme ausgestrahlte Hitze die Erwärmung des Metallmantels und damit die Verdampfung des flüssigen Pentans bewirkt, so hat natürlich ein Größerwerden der ersteren stärkere Gasentwicklung zur Folge und die Flamme wird noch höher. Sinkt die Flammengröße andererseits unter die Norm, so erkaltet der Mantel, die Flamme wird kleiner und erlischt schließlich. Um diesen Circulus vitiosus zu vermeiden, ist daher eine Überwachung und eventuelle Korrektion der Flammengröße erforderlich.

Der Docht in der HARCOURT'schen Lampe hat nur den Zweck, die Flüssigkeit, die das Brenngas liefert, eine Strecke weit in das Dochtrohr hinaufzuführen, er ragt selbst nicht in die Flamme hinein. Dadurch wird ein Verkohlen des Dochtes und die damit verbundenen Schwankungen in der Helligkeit vermieden.

Neben dem Pentanlicht wird in England auch wohl der METHVEN-Schlitz (s. u.) benutzt.

Ein Einheitslicht von ganz besonderer Konstanz ist die in Deutschland seit 1890 für photometrische Messungen fast allgemein eingeführte v. HEFNER-ALTENECK'sche (43 und 55) Amylacetatlampe, kurz »Hefnerlampe« genannt. Einem mit Amylacetat gefüllten Gefäße sitzt ein neusilbernes Dochtrohr von 25 mm freistehender Länge und 8,2 mm äußerem und 8 mm innerem Durchmesser auf. Sein Lumen ist vollkommen ausgefüllt von dem losen, mit der Flüssigkeit völlig durchtränkten Docht, der durch Zahntrieb höher und niedriger gestellt werden kann. Die Flammenhöhe soll mindestens 10 Minuten nach dem Anzünden — von dem Rande des Röhrchens ab gemessen 40 mm betragen und wird mit einer Visiervorrichtung bestimmt oder mit dem MARTENS'schen Flammenmesser (s. o.).

Um dem Dochtröhrchen eine größere Festigkeit zu geben, hat man später die Dicke seiner Wand um 0,1 mm verstärkt. Dort wo das Zahnrädchen eingreift, wurde der Dochtkanal auf 7,5 mm verengert; der Docht erhielt so eine sicherere Führung.

Als Normalmaß dient die von der Hefnerkerze in 1 m Entfernung ausgestrahlte Helligkeit: die »Meterkerze«. Die Flamme der Hefnerlampe ist überaus leicht beweglich. Der Versuch, sie mit einem Glascylinder zu umgeben, scheiterte daran, dass dieser die Lichtstärke in nicht bestimmbarem Grade beeinflusst. Die Flamme brennt daher frei. Bedingung für die Konstanz des Lichtes ist natürlich, dass kein Luftzug und keine nennenswerte Erschütterung ein ruhiges Brennen stört. Auf der anderen Seite soll aber die Luft des Untersuchungsraumes rein sein; dieser muss also vor Gebrauch der Lampe gelüftet werden.

Die Zusammensetzung der umgebenden Atmosphäre ist von wesentlichem Einfluss auf die Intensität einer Flamme. Eine Leuchtgasflamme erlischt bei 5,5 % Kohlensäuregehalt der Luft (BUNTE). Je größer der Feuchtigkeitsgrad dieser war, um so geringer fand METHVEN 73) die Leuchtkraft. Auch nimmt die Helligkeit ab, je mehr der Luftdruck sinkt. Endlich ist die im Untersuchungsraume herrschende Temperatur nicht ohne Bedeutung: wurde diese höher, so verringerte sich die Lichtintensität von Kerzen, ohne dass der Materialverbrauch eine nennenswerte Änderung erfuhr (METHVEN l. c.).

Auf die Helligkeit des Hefnerlichtes, dessen Farbe übrigens etwa gleich der des Gas- oder elektrischen Glühlichtes ist, haben Barometerschwankungen an ein und demselben Orte keinen Einfluss. Temperaturveränderungen der umgebenden Luft hat man, soll die Flamme die gleiche Höhe behalten, durch Höher- oder Niedrigerstellen des Dochtes Rechnung zu tragen.

METHVEN 73) schnitt, um sich von der Größe der Flamme unabhängig zu machen, aus dieser mittelst einer schlitzförmigen Blende ein Stück

heraus, das dann als Helligkeitseinheit gelten sollte. Er nahm dazu einen Argandbrenner (s. u.).

Es ergab sich jedoch, dass die verschiedenen Partien der Flamme nicht stets die gleiche Helligkeit besitzen. Die Gewähr für ein konstantes Licht ist also auf diese Weise noch geringer als bei der ganzen Flamme, falls man deren Höhe nach Möglichkeit gleich erhält.

Aus einer Acetylengasflamme, gespeist von einem Gemisch des Gases mit atmosphärischer Luft, schnitt Violle (86) mittelst Irisblende ein Stück als Lichteinheit heraus. Die Flamme brennt stetig und sehr hell. Féry (89) verbrennt reines Acetylengas, das einer Kapillare von 0,5 mm Durchmesser entströmt; da die Leuchtkraft der Flamme sich in ziemlich weiten Grenzen proportional der Flammenhöhe ändert, so lässt sie sich aus dieser leicht berechnen.

Die erwähnten Übelstände der Flammenbrenner fallen bei den elektrischen Glühlampen weg. Ihrer Verwendung als Einheit steht jedoch die Schwierigkeit im Wege, sich einen immer gleichen Kohlenfaden zu verschaffen.

Das theoretisch einwandfreieste und dabei zuverlässigste Normalmaß für Helligkeitsbestimmungen ist die Platineinheit. Während bei den aufgeführten Kerzen und Lampen die horizontal ausstrahlende Lichtintensität die Einheit darstellte, hat man im Jahre 1884 auf der internationalen Konferenz in Paris, nach dem schon früher von Violle (21 und 36) gemachten Vorschlag, als solche für weißes Licht die Lichtmenge angenommen, die von einem Quadratcentimeter der Oberfläche geschmolzenen Platins bei der Erstarrungstemperatur in senkrechter Richtung ausgestrahlt wird. Die Einheit für monochromatisches Licht ist gegeben in der Menge gleichgefärbten Lichtes, das in jenem weißen enthalten ist. Violle nahm damit (Krüss l. c.) einen Gedanken wieder auf, der im Prinzip bereits von Zöllner (14), und von Draper (19) angeregt und von Schwendler (25) zur allgemeinen Verbreitung empfohlen worden war.

Draper brachte einen spiralförmig gewundenen Platindraht von bestimmter Dicke und Länge in einer Wasserstoffflamme zum Glühen und behauptete, durch konstante Zufuhr des Gases eine gleichmäßige Helligkeit erzielen zu können.

Schwendler erhitzte einen Platinblechstreifen von gewisser Ausdehnung durch einen vorher in seiner Stärke genau normierten galvanischen Strom zur Weißglut. Die Stromstärke musste konstant erhalten werden.

Nach Violle geschieht das Schmelzen des Platins in einem kleinen Tiegel aus Kalk mittelst eines Leuchtgas-Sauerstoffgebläses. Der Tiegel ist überdeckt mit einem doppelwandigen Diaphragma aus Platin oder Kupfer, das durch Wasserspülung abgekühlt wird, damit seine Öffnung trotz der ausströmenden Hitze möglichst die gleiche — 1 cm^2 — bleibe. Kann man die mit dieser Einheit zu vergleichende Lichtquelle nicht senkrecht über dem

Kalktiegel anbringen, wobei der Photometerschirm horizontal zu stehen kommt, so entwirft man die Lichtstrahlen der Platinoberfläche mittelst eines um 45° geneigten Spiegels in der Horizontalen auf den senkrechten Schirm.

Zur bequemeren und billigeren Darstellung der Platineinheit befürwortete W. Siemens (46 und 47) die Lichtstärke des im Schmelzen begriffenen Platins als Normalmaß. Er brachte dicht hinter einer konisch sich auf 0,1 mm^2 verjüngenden Öffnung einen 5—6 mm breiten, sehr dünnen Platinblechstreifen durch einen langsam stärker werdenden elektrischen Strom allmählich zum Glühen, bis das Metall durchschmolz. Aus der Öffnung strahlte immer intensiveres Licht, welches im Augenblicke des Durchschmilzens erlosch. Die kurz vorher ausgesandte Helligkeit beträgt $^1/_{10}$ der von der internationalen Konferenz vorgeschlagenen Einheit, vorausgesetzt, dass Schmelz- und Erstarrungspunkt des Platins gleich hoch liegen.

Das Siemens'sche Normallicht ist leichter zu handhaben: Ein Zangenmechanismus schiebt immer wieder eine unversehrte Stelle des Platinstreifens hinter die Öffnung. Auch wird das Metall beim Schmelzen nicht verunreinigt. Weiterhin stellt sich die Siemens-Einheit wesentlich billiger als diejenige Violle's, da der Metallstreifen ganz dünn, bis zu 20 μ, gewalzt sein kann.

Das als Einheit gewonnene Licht ist in beiden Fällen von nur momentaner Dauer; ferner muss das Platin chemisch rein sein, und da überdies auch die Behandlung der Siemens'schen Lampe doch genaue Sorgfalt erfordert, so stellen sich, trotz der vielen Vorzüge der Platineinheit, ihrer allgemeinen Einführung große Schwierigkeiten entgegen. Man wird vielmehr in praxi ein Lichtmaß als Ausgangspunkt wählen, dass die obengenannten Bedingungen im wesentlichen erfüllt, und seine Leuchtkraft dann auf die Platineinheit beziehen. Als solches dürfte bislang die Hefnerlampe sich am besten eignen.

Das Hefnerlicht wird nicht stark genug sein, um für die Messung intensiver Helligkeiten direkt als Vergleichslicht zu dienen. Man muss dann ein sogenanntes Zwischenlicht einschalten. Hierfür kommen neben der Carcellampe gewöhnliche Petroleumbrenner oder die Petroleumintensivlampe (Ditmar) in Betracht, deren Leuchtkraft relativ sehr konstant ist (s. Krüss l. c.).

Giroud verband einen Einlochbrenner mit einem 10 oder 50 mal stärkeren Intensivgasbrenner in der Weise, dass beide aus demselben Zuleitungsrohre gespeist wurden. An jeder der Lampen war ein Photorheometer angebracht; die erstere wurde auf die Einheitshöhe eingestellt, die andere zu der photometrischen Messung benutzt. Eine Helligkeitsänderung macht sich bei beiden in dem gleichen Verhältnis geltend und diejenige der Intensivgaslampe wird durch Kontrolle des Einlochbrenners gemessen.

Als »Normallicht« für Bestimmungen der Leuchtkraft eines Gases wird mit Vorliebe der Argandbrenner gebraucht, ein Brenner mit ringförmiger Deckplatte, in der in geringen, regelmäßigen Abständen Löcher gebohrt sind, so dass das ausströmende Gas dicht oberhalb der Öffnungen eine einheitliche Flamme bildet. Schon 1860 war ein solcher Argandbrenner in Paris für amtliche Messungen vorgeschrieben. Er hat dann später mehrfach Änderungen erfahren: seine Größenverhältnisse wurden für die verschiedenen Gase verschieden gestaltet (SUGG), der Luftzutritt reguliert, um der Flamme die größtmögliche Leuchtkraft geben zu können (ELSTER).

Litteratur.

Photometrie (Lichtmessung).

Betreffs der Litteratur bis zum Jahre 1886 sei auch verwiesen auf den 37. Band der Elektrotechnischen Bibliothek: Die elektrotechnische Photometrie von H. Krüss. Wien 1886.

1760. 1. Bouguer, Traité d'optique sur la graduation de la lumière. Paris.

2. Lambert, J. H., Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augusta Vindelicorum.

1815. 3. Brewster, D., On a new species of coloured fringes produced by the reflection of light, between two plates of parallel glass of equal tuckness. Transact. of the Royal Soc. of Edinburgh.

1830. 4. Ritchie, Annals of philosophy. 3. Ser. I. S. 174.

1831. 5. Potter, Versuche zur Bestimmung der Lichtmenge, welche von ebenen Metallspiegeln unter verschiedenen Einfallswinkeln reflektiert wird Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. XXII. S. 606.

1833. 6. de Maistre, Quetelet und Arago, Photometer. Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. XXIX. S. 186.

1852. 7. Beer, A., Bestimmung der Absorption des roten Lichtes in farbigen Flüssigkeiten. Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. LXXXVI. S. 78.

1853. 8. Babinet, Note descriptive du photomètre industriel. Compt. rend. XXXVII. S. 774.

9. Bernard, Note sur la description et l'emploi d'un nouveau photomètre. Compt. rend. XXXVI. S. 728.

1854. 10. Smee, A., The eye in health and disease. London.

1856. 11. Wild, H., Über ein neues Photometer und Polarimeter nebst einigen damit angestellten Beobachtungen. Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. IC. S. 235.

1857. 12. Zöllner, Fr., Photometrische Untersuchungen. Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. C. S. 381.

1858. 13. Arago, Fr., Oeuvres complètes. X. — Sämtl. Werke. Leipzig. Bd. X.

1859. 14. Zöllner, Fr., Photometrische Untersuchungen. Inaug.-Diss. Basel. — Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. CIX. S. 44.

1863. 15. Wild, H., Photometrische Untersuchungen. Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. CXVIII. S. 193.

1865. 16. Aubert, H., Physiologie der Netzhaut. Breslau.

1873. 17. Klein, De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle. Paris.

1874. 18. Rüdorff, Fr., Über das Bunsen'sche Photometer. Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. Jubelband. S. 234.

1878. Landolt, E., Photométrie en Photoptométrie in de Wecker et Landolt. Traité complet d'Ophth. I. S. 511.

1879. 19. Draper, J. W., A new unity of light. Philos. Mag. IX. S. 76.

1879. 20. Guthrie, F., A new photometer. Chem. News and Journ. of Phys. Sc. XL. S. 262.
21. Violle, J., Sur la radiation du platine incandescent. Compt. rend. LXXXVIII. S. 171.
1880. 22. Ayrton and Perry, A dispersion-photometer. Philos. Mag. (5.) VIII. S. 117.
23. Coglievina, D., Das Centigradphotometer. Braunschweig.
24. Fuchs, F., Über ein neues Interferenzphotometer. Wiedemann's Ann. XI. S. 465.
25. Schwendler, L., Eine neue Maßeinheit für Lichtmessungen. Zeitschr. f. angew. Eletric. II. S. 14.
1881. 26. Brücke, E., Über einige Konsequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie. II. Sitzungsber. d. kaiserl. Akademie d. Wissensch. z. Wien. LXXXIV. S. 425.
27. Sabine, R., On a wedge and diaphragma photometer. Philos. Mag. 5. XV. S. 22.
28. de Lépinay, Macé, et W. Nicati, Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'une même spectre. Arch. de Chim. et de Phys. (5.) XXIV. S. 289.
1882. 29. Giroud, H., L'unité de lumière. Journ. d'usines à gaz. Paris. Mai.
30. Voller, A., Über die Anwendung von Dispersionslinsen bei photometrischen Messungen. Abhandl. d. naturw. Ver. Hamburg-Altona. V, 2. S. 40.
1883. 31. Hähnlein, Über Lichtmessung. Journ. f. Gasbeleuchtung. 26. Jahrg. S. 659.
32. Hammerl, H., Über eine Methode zur Messung der Intensität sehr heller Lichtquellen. Elektrotechn. Zeitschr. IV. S. 262.
33. Hartley, M., A new photometer. The Electrician. XI. S. 76.
34. de Lépinay, Macé, Sur une méthode pratique pour la comparaison photométrique des sources usuelles diversement colorées. Compt. rend. XCVII. S. 1428.
35. Pickering, E. C., Wedge-Photometer. Nature. Juli. S. 13.
36. Violle, J., Intensités lumineuses des radiation émises par le platine incandescent. Compt. rend. XCII. S. 866.
37. Weber, Leonh., Mitteilung über einen photometrischen Apparat. Wiedemann's Ann. d. Physik u. Chemie. XX. S. 326.
38. de Lépinay, Macé, et W. Nicati, Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'une même spectre. Arch. de Chim. et de Phys. (5.) XXX. S. 145.
39. Convoy, A new photometer. Philos. Mag. XV. S. 423.
1884. 40. Cornu, Photometrische Studien. Beibl. zu Wiedemann's Ann. d. Physik u. Chemie. VIII. S. 501.
41. Crova, A., Sur un photomètre à diffusion. Compt. rend. IC. S. 1115.
42. Dibdin, W. J., Some new phases in photometrical practice. Journ. of the Soc. of chem. Industry. May.
43. v. Hefner-Alteneck, Vorschlag zur Beschaffung einer konstanten Lichteinheit. Elektrotechn. Zeitschr. V. S. 20.
44. Krüss, H., Eine neue Form des Bunsenphotometers. Verhandl. d. naturw. Ver. Hamburg-Altona. VIII. S. 55.
45. Masson, A., Elektrophotometrische Studien. Poggendorff's Ann. d. Physik u. Chemie. LXIII. S. 158. — Compt. rend. XVIII. S. 289.
46. Siemens, W., Über elektrische und Lichteinheiten nach den Beschlüssen der Pariser internationalen Konferenz. Elektrotechn. Zeitschr. 5. Jahrg. S. 244.
47. Siemens, W., Über die von der Pariser Konferenz angenommene Lichteinheit. Wiedemann's Ann. d. Physik u. Chemie. XXII. S. 304.
48. Simonoff, L., Optisches Photometer. Schriften d. k. russ. techn. Ges. XVIII. S. 75. — Zeitschr. f. Instrumentenk. IV. S. 172.

1884. 49. Weber, Leonh., Die photometrische Vergleichung ungleichfarbiger Lichtquellen. Elektrotechn. Zeitschr. S. 166.

1885. 50. Crova, A., Comparaison photométrique des lumières de teintes différentes. Ann. de Chim. et Phys. (6.) VI. S. 528.

51. Harcourt, A. V., On a lamp giving a constant light. Rep. of Brit. Assoc. for the adv. of Sc. S. 422.

52. Joly, J., On a photometer made with transparent prisms. Nature. XXXI. S. 330.

53. Krüss, H., Das Kompensationsphotometer. Journ. f. Gasbeleucht. u. Wasserv. S. 665.

54. Wybauw, J., Un photomètre pour foyers électriques. Bull. de la Soc. Belge d'Electr. II. S. 5.

1886. 55. v. Hefner-Alteneck, Zur Frage der Lichteinheit. Journ. f. Gasbeleucht. S. 3.

56. Krüss, H., Die elektrotechnische Photometrie. Elektrotechn. Bibliothek XXXII. Wien.

57. Uhthoff, W., Über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII, 1. S. 171.

1887. 58. Methven, J., Journ. f. Gasbeleucht. 30. Jahrg. S. 85.

59. Pagliani, St., Fotometro a riflessione. L'ingner. civile e le arti industr. XIII. S. 13.

60. Weber, Leonh., Zur Theorie des Bunsen'schen Photometers. Wiedemann's Ann. d. Physik u. Chemie. XXXI. S. 676.

61. Wild, H., Photomètre de polarisation pour les usages techniques et son emploi à la verification de lampes à gaz. de Wenham. Bull. de de l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg. XXXII.

1888. 62. Elster, S., Vergleichungskörper für Lichtmessungen. Zeitschr. f. Instrumentenk. VIII. S. 299.

62a. Elster, S., Photomètre angulaire. La lumière électr. XXVII. S. 85.

63. Grosse, W., Über eine neue Form von Photometern. Zeitschr. f. Instrumentenk. VIII. S. 95 u. 129.

64. Krüss, H., Das Mischungsphotometer nach Dr. W. Grosse. Zeitschr. f. Instrumentenk. VIII. S. 347.

65. Joly, J., On a diffusion-photometer. Philos. Mag. (5.) XXII. S. 26.

66. Lehmann, A., Über Photometrie mittelst rotierender Scheiben. Wundt's Philos. Studien. IV. S. 231.

67. Uppenborn, F., Über konstante Vergleichslichtquellen für photometrische Zwecke. Journ. f. Gasbeleucht. 31. Jahrg. S. 487 u. 513.

68. Wild, H., Photomètre de polarisation pour les usages techniques et son emploi à la vérification de lampes à gaz. de Wenham. Bull. de l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg. XXXVII. S. 193.

1889. 69. Hesehus, Modification du photomètre de Bunsen. Journ. d. physik. Ges. zu St. Petersburg. XX. S. 107.

70. Lummer und Brodhun, Ersatz des Photometerfleckes durch eine rein optische Vorrichtung. Zeitschr. f. Instrumentenk. IX. S. 23.

71. Lummer und Brodhun, Photometrische Untersuchungen. I und II. Zeitschr. f. Instrumentenk. IX. S. 41 u. 461.

1890. 72. Brücke, E., Über zwei einander ergänzende Photometer. Zeitschr. f. Instrumentenk. X. S. 11.

73. Methven, J., Über Lichtmessung. Journ. f. Gasbeleucht. 33. Jahrg. S. 80.

74. Uhthoff, W., Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität, sowie von der Wellenlänge im Spektrum. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 1. S. 33.

1892. 75. Lehmann, E. W., Über ein Photometer. Inaug.-Diss. Erlangen.

1893. 76. Mesnard, E., Nouveau photomètre. Séances de Soc. franç. de Phys. S. 172.

1893. 77. Ferry, The use of the rotative sectored disc in photometry. Phys. Rev. I. S. 338.

78. Rood, O. N., Photometric methode which is independent of colour. Amer. Journ. of Sc. XLVI. S. 173.

79. Thomson, S. P., Some notes on photometry. Physic. Soc. London. IX. June.

1896. 80. Frank and Withmann (Progr. Age. Febr.), Die Photometrie verschiedenfarbigen Lichtes und die Flackerphotometrie. Zeitschr. f. Beleuchtungswesen. I. S. 132.

81. Preece, W. H., und A. P. Trotter, Ein verbessertes tragbares Photometer. Zeitschr. f. Instrumentenk. XVI. S. 157.

82. Krüss, H., Photometer nach Lummer und Brodhun. Journ. f. Gasbeleucht. S. 265.

83. Krüss, H., Versuche mit dem Flackerphotometer von Rood. Journ. f. Gasbeleucht. 3. Beibl. XX. S. 772.

84. Lummer, O., und Brodhun, Photometrische Untersuchungen. VI. Zeitschr. f. Instrumentenk. XVI. S. 299.

85. Rood, O. N., Über eine von der Lichtfarbe unabhängige photometrische Methode. Zeitschr. f. Beleuchtungswesen. 2. Jahrg. S. 120.

86. Violle, J., On étalon photométrique à l'acétylène. Compt. rend. CXXII. S. 97.

1897. 87. Blondel, A., und E. Broca, Universalphotometer für binokulare Einstellung. L'éclair. électr. X. S. 145.

88. Thompson, Bericht der Brit. assoc. for the advancem. of sc. Ref. in Zeitschr. f. Beleuchtungswesen. 3. Jahrg. S. 355.

1898. 89. Féry, Ch., Sur un nouvel étalon lumineux. Compt. rend. CXXVI. S. 1192.

90. Hummelsheim, E., Über den Einfluss der Pupillenweite auf die Sehschärfe bei verschiedener Intensität der Beleuchtung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLV. S. 357.

91. Krüss, H., Über einige Abänderungen des Weber'schen Photometers. Journ. f. Gasbeleucht. XLI. S. 3.

92. Krüss, H., Photometrierstativ für Gasbrenner. Journ. f. Gasbeleucht. S. 253.

1899. 93. Martens, F. F., Neues Polarisationsphotometer für weißes Licht. Verhandl. d. deutschen physik. Ges. 10. Jahrg. und Physik. Zeitschr. 1. Jahrg. S. 299.

94. Rowland, A. J., A portable photometer for incandescent lamps. Electrician. XLIV. S. 110.

1900. 95. Cohn, H., Ein Lichtprüfer für Arbeitsplätze. Wochenschr. f. Therapie u. Hygiene des Auges. 3. Jahrg. No. 3.

96. Martens, Neuer Flammenmesser für Hefnerlampen. Verhandl. d. physik. Ges. II. S. 108.

97. Rood, O. N., Das Flackerphotometer. Physik. Zeitschr. 1. Jahrg. S. 269.

98. Truc, Nouveau photomètre scolaire. Rev. gén. d'Opht. S. 382.

1901. 99. Herschkowitsch, M., Apparat zum Photometrieren in allen Richtungen des Raumes. Journ. f. Gasbeleucht. XLIV. S. 650.

100. Kauer, A., Über die von mir erfundenen Milchglasphotometer. Vierteljahrsschr. des Wiener Ver. z. Förderung d. physik. u. chem. Unters. VI. S. 10.

101. Lummer, O., Ein neues Interferenzphoto- und Pyrometer. Verhandl. d. deutschen physik. Ges. 3. Jahrg. S. 131.

1902. 102. Cohn, H., Über den praktischen kleinen Weber-Wingen'schen Helligkeitsprüfer. Deutsche med. Wochenschr. S. 347.

103. Pfeiffer, E., Über eine schnelle Methode zur Prüfung der Lichtstärke auf den Arbeitsplätzen, in Schulen, Bureaux und Werkstätten. Münchener med. Wochenschr. S. 926.

II. Photoptometrie (Untersuchung des Lichtsinnes).

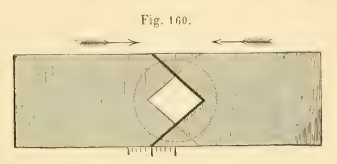
§ 96. Unter Lichtsinn verstehen wir mit Aubert (4) die Fähigkeit des Auges, Lichtintensitäten zu empfinden; die Untersuchung des Lichtsinnes erstreckt sich auf die Wahrnehmung von Unterschieden solcher Intensitäten, auf das Erkennen von Helligkeitsdifferenzen.

§ 97. Zur Prüfung der Lichtempfindlichkeit des Auges im ganzen, des **Totallichtsinnes**, bedarf es zeitlich getrennter, successiver Helligkeitsunterschiede. Zunächst ließe sich das Helligkeitsminimum feststellen, das von dem Auge eben noch im Unterschiede zur absoluten Dunkelheit empfunden wird — die Reizschwelle (Fechner).

Aubert (l. c.) erleuchtete zu diesem Zwecke mit seinem verstellbaren Diaphragma im Fensterladen des Dunkelzimmers einen durchscheinenden weißen Schirm. Der Beobachter fixierte die Mitte des Schirmes, so nahe hinter diesem stehend, dass er sein binokulares Gesichtsfeld ganz ausfüllte. Es wurde die kleinste Blendenöffnung bestimmt, bei deren Freigabe eben ein Helligkeitsschimmer auf der Schirmfläche merklich war.

Der Aubert'sche Schieber, nach dem Prinzip der Blende in Förster's Photometer (s. u.) konstruiert, besteht aus zwei Platten mit je einem rechtwinkligen Ausschnitt. Die Platten werden durch einen Trieb übereinandergeschoben, so dass die Ausschnitte ein Quadrat einfassen von messbar abzustufender Größe. Hinter dem Schieber ist eine Milchglasscheibe angebracht, die das Licht diffundiert und so selbst als stärkere oder schwächere Lichtquelle wirkt, je nach der Weite der Schieberöffnung.

Fig. 160.



Verstellbare Blende nach Förster.

Bjerrum (26) näherte sich im möglichst verdunkelten Zimmer, ein Auge verbunden, das andere mit einem großen, periskopischen, lichtdicht anliegenden Milchglase bewaffnet, dem Diaphragma eines v. Graefe'schen Photometers (s. § 98). Die helle Scheibe des Instrumentes wurde abwechselnd verdeckt und freigegeben und die größte Entfernung notiert, die noch einen Helligkeitsunterschied erkennen ließ.

Beide Untersuchungsarten hatte, wie Bjerrum berichtet, dem Wesen nach früher schon Krenchel zu ähnlichem Zwecke benutzt.

Aubert prüfte demnach den Totallichtsinn beider Augen zugleich, Bjerrum den monokularen. Für klinische Lichtsinnuntersuchungen jeglicher Art ist es selbstverständlich erforderlich, jedes Auge einzeln vorzunehmen.

Der Untersuchung der Reizschwelle hat eine ausgiebige Dunkeladaptation vorherzugehen. So beobachtete Aubert eine Verminderung des Schwellenwertes bei fortschreitender Adaptation während des Versuches. Nach 15—20 Minuten Dunkelaufenthalt kann die Adaptation als vollendet angesehen werden. Will man diese durch einfachen Lichtabschluss vom Auge (Verdecken) erzielen, so ist darauf zu achten, dass sich der Anpassungsvorgang in jedem Auge gesondert abspielt, das zweite also unbeeinflusst bleibt (44).

Die Reizschwelle für den Totallichtsinn lässt sich auf die geschilderte oder eine ähnliche Art mit hinreichender Genauigkeit feststellen. Das Eigenlicht der Netzhaut stört dabei relativ wenig, obschon es die Wahrnehmung der geringsten objektiven Helligkeitsgrade verhindert, wie aus Helmholtz's (55) Beobachtung hervorgeht, nach der eine schwach leuchtende, ruhende Fläche unsichtbar bleibt, während sie hell genug ist, um von ihr beleuchtete bewegte Objekte wahrnehmbar zu machen.

§ 98. Mit den gleichen Versuchsanordnungen haben Aubert und Bjerrum auch die Empfindlichkeit für Helligkeitsdifferenzen (Fechner's Unterschiedsschwelle) im Gesamtgesichtsfelde geprüft. Ersterer erhöhte dabei die vorher bestimmte Beleuchtungsstärke des Schirmes periodisch um gewisse Bruchteile, während Bjerrum eine Kerze in $^1/_2$ m Entfernung vom Auge aufstellte und ein zweites Stearinlicht, abwechselnd beschattet und wieder freigegeben, aus größerer Distanz nähern ließ, bis der Beleuchtungswechsel erkennbar wurde. Es bedurfte dazu eines Zuwachses von $^1/_{24}$ — $^1/_{30}$ der ursprünglichen Helligkeit.

Bleibt das Auge längere Zeit auf eine gleichmäßig helle, einigermaßen stark belichtete Fläche gerichtet, so beginnt das Gesichtsfeld infolge des Wettstreites der Sehfelder bald sich zu verdunkeln, was das Erkennen kleinster Helligkeitsunterschiede erheblich beeinträchtigt. Bjerrum (l. c.) sah dies in viel geringerem Grade und nur allmählich auftreten, wenn er das zweite Auge nicht verband, sondern ebenfalls mit einem Milchglase bewaffnete. Untersuchte er mit nur schwachen Intensitäten, so blieb die Erscheinung überhaupt aus.

Vorläufig hat die Prüfung des Totallichtsinnes eine klinische Bedeutung nicht; wir wissen nur, dass erhebliche Differenzen in der Ausdehnung des Gesichtsfeldes einen Unterschied in dem Schwellenwerte ergeben. Dass jener nicht erheblich werden kann, zeigt ein Vergleich der citierten Resultate Bjerrum's mit denjenigen von Charpentier (15), der umschriebene, central und peripher gelegene Netzhautpartien mit successiven Helligkeitsdifferenzen prüfte. Die Unterschiedsschwelle betrug hier $^{7-8}/_{100}$, dort, wie wir sahen, für die ganze Retina $^{3-4}/_{100}$.

In Fällen hochgradiger Amblyopie, wo es sich darum handelt, festzustellen, ob das Auge überhaupt noch einen Rest von Lichtsinn besitzt, lässt man den Patienten, während das andere Auge verdeckt ist, nach einer hellen Fläche, etwa dem Fenster, blicken, beschattet das Auge periodisch mit der Hand und sieht zu, ob ein Helligkeitswechsel empfunden wird. v. Graefe (12) hat, um die Lichtstärke hierbei abstufen zu können, einen Lichtsinnmesser angegeben. In einem hölzernen Kasten mit Schornstein brennt eine Kerze, durch eine Feder in stets gleicher Höhe gehalten. Die Flamme steht im Brennpunkte einer Konvexlinse und die so parallel gemachten Strahlen fallen auf die quadratische, messbar zu verkleinernde Öffnung eines senkrechten Schirmes. Hinter die Öffnung eingeschobene Milchglasplatten gestatten die stufenweise Abschwächung der Helligkeit.

§ 99. Es ist darum zweckmäßiger und bei weitem gebräuchlicher, den Lichtsinn für einen umschriebenen Abschnitt der Netzhaut zu untersuchen. Wie dies für die peripheren Zonen zu geschehen hat, soll an anderer Stelle (Abschnitt IX dieses Kapitels) geschildert werden. Hier beschäftigt uns lediglich die Funktion des direkten Sehens, der **centrale Lichtsinn**. Auch jetzt können wir wiederum zwei Wegen nachgehen und 1. die Reizschwelle, 2. die Unterschiedsschwelle bestimmen. Beide Male haben wir daran festzuhalten, dass die Funktionsprüfung möglichst rein geschehe, insbesondere dass der Raumsinn gänzlich aus dem Spiele bleibe; die Form des Objektes soll darum eine möglichst einfache sein.

Die Untersuchung der centralen Reizschwelle.

Gemäß dem Begriffe der Reizschwelle lässt sich diese nur prüfen mit hellem Objekte in gänzlich dunkler Umgebung. Dies geschieht am besten im Dunkelzimmer mit einer leuchtenden Marke, deren Intensität messbar abgestuft werden kann, sei es durch Änderung ihrer Leuchtkraft selbst oder durch Zwischenschieben lichtabsorbierender bezw. -abblendender Medien, wie solche auch der Photometrie dienen (vgl. vorigen Abschnitt). Über das Photometer Charpentier's zur Reizschwellenuntersuchung s. § 104.

Die sogenannten »Selbstleuchter«, wie Phosphor, Calciumsulfid, Balmain'sche Leuchtfarbe u. a., sind hier mit Vorsicht zu verwenden, da ihre Lichtstärke nicht genau kontrollierbaren Schwankungen unterliegt und die der letzteren überdies abhängt von dem Grade und der Einwirkungsdauer der Helligkeit, welcher sie vorher ausgesetzt war.

Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass es verfehlt wäre, durch bloße Änderung der Objektdistanz die Helligkeit des Netzhautbildchens zu variieren; denn da die Gesamthelligkeit dieses proportional seiner Größe wächst oder abnimmt, so bleibt die Einheit immer gleich hell. Man müsste also schon, um den gewünschten Erfolg zu erzielen, die Fläche der Lichtquelle genau entsprechend der Zunahme der Distanz wachsen lassen. Es ist überhaupt unstatthaft, während der Untersuchung die Größe des Objektbildes zu ändern, da es gilt, über die Funktion eines bestimmten, umschriebenen Netzhautbezirkes Aufschluss zu erhalten.

Das nicht überall zu beschaffende Dunkelzimmer lässt sich dadurch ersetzen, dass man das Auge an die Öffnung eines mattschwarz ausgekleideten, rings geschlossenen Kastens lichtdicht anlegt, auf dessen Rückwand das Sehzeichen erscheint. Hierzu eignet sich gut das sogenannte Photometer von Förster (s. § 111). Wie wir sehen werden, nahm Förster nicht ein leuchtendes, sondern ein einfach weißes Objekt auf schwarzem Grunde (bezw. Schwarz auf Weiß), von vornher erhellt durch ein gradweise veränderliches Licht. Im Prinzip erscheint dieser Modus bei der Reizschwellenprüfung nicht zulässig, weil auch das tiefste Schwarz Licht reflektiert, somit für das helle Objekt keine absolut dunkle Umgebung geschaffen wird. Bei sehr niedrigen Helligkeiten ist jedoch die Menge des von dem Schwarz zurückstrahlenden Lichtes so gering, dass sie unter der Schwelle der Wahrnehmung bleibt und vernachlässigt werden kann.

Wallace Henry (69) lässt den Patienten, durch eine Haube gegen seitliches Licht geschützt, in einen länglichen schwarzen Kasten blicken mit einem Ausschnitt in der Rückwand. Dort ist ein Satz von 9 planparallelen Milchglasplatten vorgeschoben, der das Licht einer dahinter stehenden Kerze diffundiert und zugleich abschwächt. Der Untersucher stellt fest, wie viele Platten entfernt werden müssen, damit der Ausschnitt als helleres Feld sich von der Rückwand abhebe.

Die Bestimmung der centralen Reizschwelle setzt wiederum eine genügende Dunkeladaptation voraus. Diese ist um so notwendiger, als sich ihr Einfluss auf den Lichtsinn besonders geltend macht, mehr noch beispielsweise als auf die Sehschärfe; die Adaptationsgröße wächst mit dem Grade der Helligkeit, der das Auge vorher ausgesetzt war (41, 48, 58). Die Anpassung erfolgt in den ersten Minuten des Dunkelaufenthaltes am schnellsten, steigert sich aber innerhalb der ersten Viertelstunde noch beträchtlich, so dass die Adaptationszeit auf 15—20 Minuten zu bemessen ist (4, 42 u. a.).

§ 100. Es liegt nahe, bei der Lichtsinnuntersuchung für die Objektgröße denselben Gesichtswinkel zu wählen, wie er der Sehschärfeprüfung als Norm dient, d. i. 5′. Da wir jedoch die Bestimmung des Schwellenwertes meist und zweckmäßig auf kurze Distanz vornehmen (s. u.), so würde das Objekt sehr klein werden, was seine Herstellung erschwert und die Genauigkeit des Resultates beeinträchtigt. Man nimmt es deshalb besser größer, etwa zu 30′. Sein Netzhautbild liegt dann noch innerhalb der Foveola (62) und erreicht eben die Grenze, bis zu welcher es abnehmen kann, ohne dass sich der Schwellenwert ändert (19, 21). Wird das Bild kleiner, so muss, damit es wahrnehmbar sei, seine Helligkeit umgekehrt proportional seiner Größe wachsen. Treitel (48) hat seine Studien über die centrale Reizschwelle an einer Modifikation des Förster'schen Photometers

zufällig mit dieser Objektgröße angestellt. Er ersetzte die Tafel FÖRSTER's durch eine mit schwarzem Sammet überzogene Scheibe, auf der ein weißes 3 Millimeterquadrat aufgeklebt war. Auch die Wände des Kastens kleidete er mit schwarzem Sammet aus; in das einzige Fenster der Vorderwand war zwecks Erleichterung einer centralen Fixation eine kurze konische Papprohre eingepasst, deren Achse auf die Mitte des gerade gegenüberliegenden Objektes zeigte. Er suchte den Beleuchtungsgrad auf, bei dem das Quadrat dem dunkeladaptierten Auge eben sichtbar war. Das Resultat berechnete TREITEL nach der FÖRSTER'schen Formel $L = \frac{h}{x}$, in der er $h = 3$ setzte.

§ 101. Die Prüfung der Reizschwelle wird, wie angedeutet, erheblich erschwert durch die geringe Gewähr einer centralen Fixation, für die dem Auge in der dunklen Umgebung jeder Anhalt fehlt. Dies ist bei der Bestimmung des Schwellenwertes um so bedenklicher, als das eigentliche Netzhautcentrum gegenüber der Nachbarschaft für sehr geringe Helligkeiten unterempfindlich ist. Die Gefahr liegt darum nahe, dass das allmählich heller werdende Objekt zunächst excentrisch wahrgenommen und der entsprechende Wert als centraler Schwellenwert notiert wird. TREITEL (l. c.) hat, da nach seiner eigenen Angabe für eine sichere centrale Fixation der Tubus doch nicht ausreicht, das Objekt im Photometer über die Reizschwelle hinaus erhellt und dann die Beleuchtung abgeschwächt, bis die Marke eben verschwand. Es wäre festzustellen, ob der Moment des Verschwindens zusammenfällt mit dem ersten Auftauchen bei allmählicher Steigerung der Helligkeit; a priori ist dies nicht wahrscheinlich. Auch spricht wohl die Angabe von BUTZ (25) dagegen, wonach man die »eben merkliche« Helligkeit wieder um ein weniges abschwächen kann, ohne dass das Objekt unsichtbar wird. CHARPENTIER konnte dies bestätigen und A. E. FICK (49) die Beobachtung dahin erweitern, dass das Phänomen auch beim Schließen des Auges für 10—12 Sekunden, während dem die Lichtintensität vorsichtig vermindert wird, bestehen bleibt. Vor allem wäre zu erwägen, ob nicht eine über der Schwelle liegende Anfangshelligkeit eine Adaptationsstörung des Netzhautcentrums mit sich bringe, die im kranken Auge anders ausfallen kann als im gesunden. Jene Helligkeit darf naturgemäß nie so groß werden, dass auch das Schwarz des Objektgrundes Licht reflektiert.

TREITEL (l. c.) fand, dass von seinen Patienten verlassliche Angaben darüber zu erhalten waren, ob sie central fixiert hatten. Diese Voraussetzung lasst sich für die klinische Untersuchung nicht verallgemeinern.

§ 102. Nach alledem ist die Untersuchung des centralen Lichtsinnes durch die Reizschwellenbestimmung umständlich und wenig zuverlässig; sie

wird darum nur selten geübt. Da sie überdies Dunkeladaptation erfordert, so werden diejenigen Augenerkrankungen, bei welchen die Sehfunktionen für niedrige Helligkeit unverhältnismäßig herabgesetzt sind, die Reizschwelle erhöht, den Lichtsinn also vermindert erscheinen lassen, obschon dieser in Wirklichkeit vielleicht gar nicht oder relativ wenig beeinträchtigt ist, wie die Untersuchung bei Tageslicht erweist. Treitel hat das Verdienst, hierauf die Aufmerksamkeit gelenkt und den Beweis erbracht zu haben, dass es sich dabei wahrscheinlich um eine Störung der Adaptation handelt.

Wenn wir also auch durch die Reizschwellenprüfung keinen eindeutigen Aufschluss über den Lichtsinn erhalten, so ist ihr damit ihre Bedeutung für besondere Zwecke nicht genommen. Zuvor wäre es aber erforderlich, einen einheitlichen Schwellenwert als untere Grenze der Norm festzusetzen, gewonnen aus der Untersuchung einer großen Zahl gesunder Augen. Treitel wählte, wie wir sahen, bei seinen Studien an dem modifizierten Photometer den Förster'schen Bruch mit dem Zähler 3; auf wie breiter Basis diese Annahme beruht, wird nicht mitgeteilt.

Die Unterschiedsschwelle des centralen Lichtsinnes.

§ 103. Die Unterschiedsschwelle des centralen Lichtsinnes wird fast ausschließlich mittelst simultaner Helligkeiten geprüft; wir wollen uns darum vorwiegend mit diesem Modus beschäftigen.

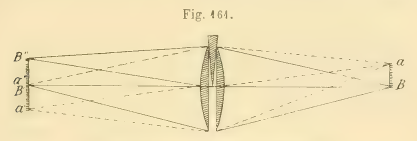
Die Sichtbarkeit eines Objektes in andersheller Umgebung beeinflussen bekanntlich, abgesehen von der Adaptation, drei Faktoren: Größe des Netzhautbildes, absolute Helligkeit und Kontrast mit der Umgebung. Damit stehen jedoch zur Prüfung der Unterschiedsschwelle nicht etwa drei Wege offen, so dass man beliebig je zwei dieser Faktoren unverändert ließe und den dritten variierte. Die absolute Helligkeit oder den Gesichtswinkel zu ändern, wäre unzweckmäßig, weil beide, wie wir sehen werden, in weiten Grenzen schwanken können, ohne den Schwellenwert zu beeinflussen. Es würde aber auch nicht statthaft sein, denn die Variation der Helligkeit während der Untersuchung stört die Adaptation, und diejenige des Gesichtswinkels giebt nicht Auskunft über das Minimum separabile eines bestimmten Netzhautbezirkes, sondern über die geringste räumliche Ausdehnung, innerhalb derer ein gegebener Helligkeitsunterschied noch wahrgenommen wird. Es bleibt also als einzige Untersuchungsart der Unterschiedsschwelle, bei konstantem Gesichtswinkel und konstanter absoluter Helligkeit den Unterschied der zu vergleichenden Helligkeiten abzustufen bis zur Grenze seiner Wahrnehmbarkeit.

§ 104. Zum Vergleiche können zunächst zwei verschieden helle Flächen dienen, wie sie bei der Photometrie Verwendung finden. Die Vorrichtungen hierzu sind im ersten Teile dieses Abschnittes beschrieben. Natürlich gilt es jetzt

nicht, die Beleuchtungsfelder gleich hell zu machen, sondern die geringste Helligkeitsdifferenz beider herzustellen, die das Auge noch empfindet. Um diese bestimmen und messbar ändern zu können, muss die Intensität der Lichtquellen bekannt sein; am einfachsten nimmt man zwei gleiche Lichter.

Ein Photoptometer hat Charpentier[1] (Fig. 161) konstruiert. Der sinnreiche Aufbau ist im wesentlichen folgender: Ein länglicher, innen geschwärzter Kasten hat in der kurzen Rückwand einen quadratischen Ausschnitt, in den eine Mattglasscheibe eingelassen ist. Die Scheibe wird von hinten her beleuchtet, ihr Bild entwerfen zwei nahe aneinandergerückte Plankonvexlinsen in der Mitte des Kastens auf eine zweite Mattglasplatte in

Fig. 161.



Photoptometer von Charpentier (schematisch).

der vorderen Wand. Dadurch, dass die seitlichen Wände und die obere und untere etwas vorragen, wird eine dunkle Kammer gebildet, auf deren Grund also das helle Bild erscheint. In den schmalen Raum zwischen den beiden Linsen lässt sich ein Prisma einschieben, wodurch der Kegel der Objektstrahlen in zwei Teile zerfällt: ein Teil passiert nur die Linsen, der andere, der außerdem durch das Prisma geht, wird neben dem ersteren auf der vorderen Mattscheibe entworfen. Je tiefer man das Prisma vorschiebt, um so größer ist die Quote der abgelenkten Strahlen und um so heller das entsprechende Beleuchtungsfeld auf Kosten des anderen. Reicht die brechende Kante des Prismas bis zur Mitte der Doppellinse, so werden die Felder gleich hell. Im übrigen kann deren Helligkeit proportional gesetzt werden der Ausdehnung der bedeckten, bezw. freigebliebenen Linsenflächen. Diese wiederum lässt sich an einem Maßstabe ablesen, der zugleich die Verschiebung des Prismas anzeigt. Genau trifft die angedeutete Rechnung nur zu — Landolt weist schon darauf hin — für einen Punkt, der auf der Hauptachse der Linse liegt. Der Fehler bleibt aber gering, wenn die Lichtquelle von der Linse genügend weit entfernt und die helle Scheibe nicht groß ist, d. h. auch ihre peripheren Partieen nahe bei der Linsenachse gelegen sind. Zur Reizschwellenbestimmung s. o. dient das Instrument in seiner einfacheren Form, indem statt des Prismas zwischen

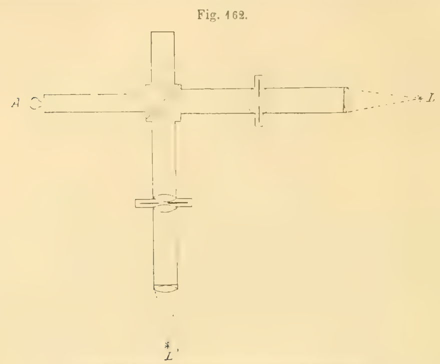
[1] Landolt giebt eine ausführliche Beschreibung im Kapitel »Photométrie« des Traité complet d'Opht. (12.) S. 531.

den Linsen eine verstellbare Blende angebracht ist. Man kann sich so auf der vorderen Mattscheibe ein Bild von beliebig veränderlicher Helligkeit erzeugen, dessen Größe eine zweite, dieser Scheibe dicht anliegende Blende abzustufen gestattet.

PARINAUD (16) brachte bei seinem nach dem gleichen Prinzipe gebauten Apparat an die Stelle der letzteren Blende eine drehbare Diaphragmascheibe mit verschiedenen großen Öffnungen.

CHARPENTIER hat das Photoptometer späterhin mehrfach verändert. Er gab dem ursprünglichen Modell eine handlichere Form (29), indem er die

Fig. 162.



Differentialphotoptometer von CHARPENTIER (schematisch).

Linsen durch einen Sammelspiegel vor der Rückwand des schwarzen Kastens ersetzte. Der Spiegel empfängt das Licht von einer in der vorderen Kastenwand angebrachten, um seine doppelte Brennweite entfernten, beleuchteten Mattglasscheibe, und reflektiert es, etwas schräg gestellt, auf eine zweite Mattscheibe, ebenfalls in der vorderen Wand neben der ersteren. Die Helligkeit des Feldes beschränkt man messbar durch ein zwischen der lichtspendenden Scheibe und dem Spiegel eingeschaltetes FÖRSTER'sches Diaphragma.

Während, wie man sieht, diese Anordnung wieder der Prüfung der Reizschwelle oder auch der Empfindlichkeit für Helligkeitsänderungen (s. § 110) dient, schuf CHARPENTIER (20) in seinem Differentialphotoptometer (Fig. 162) ein Instrument, bei welchem, ähnlich dem BUNSEN'schen Photometer, reflektiertes und durchfallendes Licht miteinander verglichen werden.

Es ist eine Kombination zweier Photoptometer, die rechtwinklig zu einander in die hintere und eine seitliche Wand eines innen mattschwarzen Kastens münden und von je einer Quelle (L und L') Licht empfangen. Die Helligkeit wird wiederum durch ein Aubert'sches Diaphragma abgestuft. An dem seitlich einmündenden Rohre ist die vordere Mattscheibe weggelassen; in der Diagonale des Kastens steht ein Satz von drei planparallelen Glasplatten, die das aus dem seitlichen Tubus dringende Licht auf die Mattscheibe des Photoptometers in der Kastenrückwand reflektieren. Dieser Scheibe liegt hinten ein Diaphragma an mit centraler Öffnung: die auffallenden Strahlen werden also nur im Bereiche der undurchsichtigen Randpartien der Blende von der Scheibe zurückgeworfen. Die Scheibenmitte, entsprechend der Diaphragmaöffnung, wird von dem hinteren Tubus aus beleuchtet. Das beobachtende Auge (A) blickt durch eine geschwärzte Röhre, die einer Öffnung in der vorderen Wand des Kastens aufsitzt. Da ein Teil des aus dem seitlichen Rohre stammenden Lichtes die Glasplatten passiert, an der gegenüberliegenden, wenn auch mattschwarzen, Kastenwand reflektierend zu den Glasplatten zurückkehrt und ins Auge geworfen wird, hat Charpentier später (28) diese Wand ausgeschnitten und dort einen innen geschwärzten Tubus aufgesetzt.

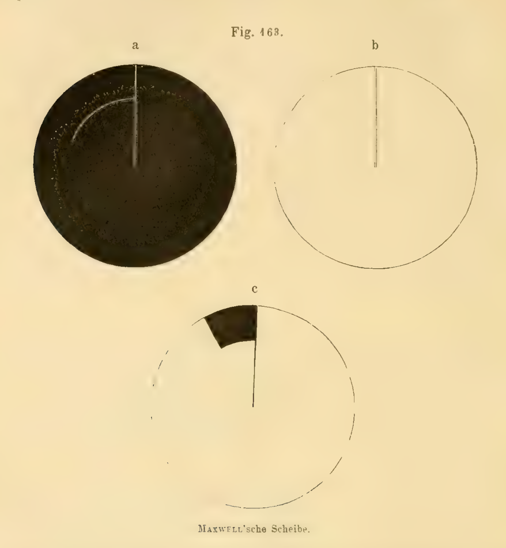
§ 105. Zum Helligkeitsvergleich dienen hier also nicht zwei nebeneinanderliegende, helle Felder, wie bei dem ursprünglichen Modell, sondern eins mit seiner andershellen Umgebung. Diese Anordnung ist bei der Prüfung der Unterschiedsschwelle die meist gebräuchliche. Man pflegt jedoch für klinische Zwecke im tageshellen Raume zu untersuchen, den Grund unverändert zu lassen und nur die Helligkeit des Objektes selbst abzustufen.

Vor allem benutzt man hierzu die Masson'sche Scheibe, bekanntlich eine runde, drehbare, meist weiße Scheibe, auf der ein Stück eines andershellen Sektors befestigt ist. Dieser erzeugt bei der Rotation, sich mit dem Scheibenton mischend, einen Ring, dessen Helligkeit von der Winkelöffnung des Sektors abhängt, und dessen Breite selbstredend gleich ist der Sektorhöhe.

Die Sektoröffnung lässt sich bequem variieren an der im Prinzip von Maxwell (2) angegebenen Kombination zweier Scheiben (Fig. 163 a und b), die beide in einem Radius aufgeschnitten sind. Bei der einen (a) sitzt dem radiären ein zweiter Einschnitt auf, koncentrisch mit dem Scheibenrand und um die gewünschte Ringbreite von ihm entfernt. So wird ein Segment umgrenzt, das beliebig weit durch den Schlitz der ersteren Scheibe gesteckt werden kann und den andershellen Sektor in messbar veränderlicher Winkelöffnung liefert (c). Durch Verschmälerung dieser vermindert man schrittweise die Helligkeitsdifferenz zwischen Ring und Grund bis zur Schwelle

der Erkennbarkeit. Die Größe des Unterschiedsminimums und damit der Schwellenwert lässt sich durch die Formel ausdrücken $D = \frac{x}{360}$, in der x die Gradzahl der Sektorbreite darstellt.

Fig. 163.



Maxwell'sche Scheibe.

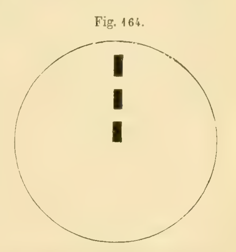
Masson (1) fand für einen schwarzen Sektor auf weißer Scheibe $x = 3^\circ$, also $D = \frac{1}{120}$. Aubert (l. c.) weist aber darauf hin, dass die Rechnung ungenau ist, weil auch das tiefste Schwarz noch Licht reflektiert, man darum zunächst dessen Helligkeit im Verhältnis zum Weiß festzustellen habe. Er erhielt mit Berücksichtigung dieser Fehlerquelle höhere Werte: am eigenen Auge $^1/_{166}$, unter günstigen Verhältnissen (s. u.) $^1/_{186}$; Helmholtz (68) $^1/_{150}$—$^1/_{167}$, Schirmer (56) und Simon (72) unter dem Einflusse längerer Übung $^1/_{217}$ bezw. $^1/_{250}$, Ole Bull (14) in maximo $^1/_{240}$. Solche Werte können naturgemäß nicht als Einheit für die klinische Untersuchung dienen. Die untere Grenze des Schwellenwertes normaler Augen glaubt Bjerrum (26)

vielmehr auf $^{1}/_{72}$ oder gar $^{1}/_{60}$ bemessen zu sollen; der allgemeinen Anerkennung einer dieser Größen wird eine Nachprüfung in weitem Umfange und unter Berücksichtigung der unten noch näher zu erörternden Faktoren vorherzugehen haben, welche die Unterschiedsempfindlichkeit beeinflussen.

Dreht sich die Scheibe nicht rasch genug, so entsteht der Eindruck des Flimmerns. Die Rotationsgeschwindigkeit muss deshalb, damit eine gleichmäßige Helligkeitsempfindung gewährleistet wird, beträchtlich über der Grenze des Flimmerns gelegen sein und mindestens 50 (Landolt l. c.), nach Simon (l. c.) sogar 60 Umdrehungen in der Sekunde betragen. Da die Geschwindigkeit wesentlich abhängt vom Verhältnis des Scheibendurchmessers bezw. -gewichtes zur Triebkraft, so empfiehlt es sich, bei den üblichen Rotationsapparaten mit Uhrwerk und Verwendung mäßig dicken Kartonpapieres, den Radius nicht erheblich über 5—6 cm zu wählen.

§ 106. Auch die Maxwell'sche Anordnung macht zur Variation der Sektorbreite die Unterbrechung der Rotation erforderlich. Donders hat sich darum Scheiben mit mehreren verschieden hellen Ringen hergestellt mittelst eines radiären, schwarzen, durch mehrfache Lücken unterbrochenen Streifens auf weißem Grunde. Bei der Drehung mischt sich den überall gleichbreiten Abschnitten des Streifens umsomehr Weiß zu, je peripherer sie liegen, die Ringe werden also zum Rande der Scheibe hin immer heller und sind durch die den Lücken entsprechenden weißen Kreise voneinander getrennt. Der Untersuchte hat einfach anzugeben, wieviele Ringe er sieht. Sei d die Breite der Striche, r die Entfernung eines Punktes eines derselben vom Centrum der Scheibe, und werde die Helligkeit der Scheibe $= 1$ gesetzt, so ist die Helligkeit des dem Punkte entsprechenden grauen Kreises durch die Formel (Helmholtz l. c.) zu ermitteln:

Fig. 164.



Modifikation der Masson'schen Scheibe nach Donders.

$$H = 1 - \frac{d}{2\,r\,\pi}.$$

Die einzelnen Ringe sind nicht in ganzer Breite gleichmäßig hell; auf das centrale Ende jedes Striches entfällt bei der Rotation weniger Weiß als auf das periphere, der Ring erscheint darum zu seinem centralen Rande hin dunkler. Vermeiden lässt sich dies, wenn man wieder statt der überall gleichbreiten Streifenstücke Sektorabschnitte verwendet.

Miéville (31) konstruierte auf Pflüger's (32) Anregung solche Scheiben, bei denen er den üblichen weißen Scheibengrund aber durch ein neutrales Grau,

eine Mischung von 310° Schwarz und 50° Weiß ersetzte, um eine Blendung des Auges auszuschließen. Bereits Aubert (l. c.) hatte gefunden, dass die Unterschiedsschwelle bei beträchtlicher Helligkeit und weißem Objektgrunde höher liegt, als wenn der Grund grau ist. Der graue Ton scheint mir aber auch für die Adaptation von Vorteil zu sein, indem er im allgemeinen der mittleren Helligkeit des Untersuchungsraumes näher kommen wird als der einer weißen Scheibe. Im ganzen verwendet Miéville 6 Scheiben von 15 cm Durchmesser mit 3—5 schwarzen Sektoren, je 2 mm hoch, auf 1 m Entfernung. Eine Scheibe, für stark herabgesetzten Lichtsinn, hat eine Tönung von 260° Schwarz + 100° Weiß. Auf diese Weise kann die Funktionsverminderung bis zu $^1/_{120}$ des Normalen bestimmt werden nach der Formel $L = \frac{6^\circ}{x^\circ}$, da Miéville fand, dass die Unterschiedsschwelle für ein normales Auge bei einer Sektoröffnung von 6° erreicht war, auf die angegebene Distanz. Die Scheiben dienen zugleich photometrischem Zwecke; der Untersucher misst an der Zahl der für sein Auge sichtbaren Ringe die Helligkeit des Raumes.

Gegen die Modifikation der Masson'schen Scheibe mit mehreren Ringen besteht der Einwand (Treitel u. a.) zu Recht, dass sie auch Anforderungen an die Sehschärfe stellt; denn es ist zweifellos eine Funktion des Raumsinnes, die es ermöglicht, die einzelnen Ringe getrennt voneinander wahrzunehmen. Bjerrum (l. c.) meint zwar, bei genügender Annäherung an die Scheibe, $^1/_2$ m etwa, erschienen die Ringe unter einem so großen Gesichtswinkel, dass der Raumsinn zu ihrer Wahrnehmung nicht in Anspruch genommen werde; wir haben es aber, wie wir unten sehen werden, nicht n der Hand, den Gesichtswinkel des Objektes beliebig groß zu wählen. Außerdem spricht meines Erachtens gegen die Verwendung mehrerer Ringe ein anderes Moment, das sich mir bei der Untersuchung über die Bedeutung der Objektgröße für die Unterschiedsschwelle aufdrängte (s. u.), nämlich, dass letztere beeinflusst wird von dem auf der paracentralen Netzhaut sich abbildenden Ringanteile. Wenn dies schon bei einem Ringe von Bedeutung zu sein scheint, so vielmehr noch bei einer größeren Anzahl, die zum Teil beträchtlich über der Schwelle der Wahrnehmung liegen.

Ole Bull (l. c.) hält die Untersuchung mit mehreren Ringen auch für bedenklich wegen der Gefahr einer auf Induktion beruhenden Selbsttäuschung, indem der Beobachter weiß, dass peripherwärts von den deutlichen Ringen auf der Scheibe noch andere, hellere vorhanden sind, und diese nun zu sehen glaubt, auch wenn sie unter der Schwelle der Wahrnehmung liegen.

Man behält darum besser die ursprüngliche Form der Masson'schen Scheibe bei, giebt ihr aber einen grauen Ton aus den oben schon erörterten Gründen. Es empfiehlt sich jedoch, ein nicht zu dunkles Grau zu wählen, in Rücksicht auf die absolute Helligkeit.

Dieser kommt allerdings nicht die Bedeutung zu, wie frühere Untersucher (Aubert u. a.) annahmen, dass nämlich die Unterschiedsschwelle mit abnehmender Helligkeit konstant wachse. Unter Berücksichtigung der Adaptation sah vielmehr Schirmer (l. c.) die Unterschiedsempfindlichkeit an weißer Masson'scher Scheibe bei einer photometrisch bestimmten Beleuchtung von 1000 M-K. bis herab auf 1 M-K. sich nicht ändern. Nun glaubt Simon (l. c.), dies Gebiet nach unten auf 40 M-K. einengen zu müssen, und weiterhin gelten diese Werte für die Verminderung der allgemeinen Helligkeit, die also sowohl den Scheibengrund als das Schwarz des Ringes betrifft; sie sind demnach nicht direkt auf die Verdunklung des Grundes allein zu übertragen, wobei der Kontrast zwischen Ring und Umgebung natürlich erheblich mehr abnimmt. Man thut darum gut, den Scheibengrund so hell zu halten, dass auch bei mäßigem Tageslicht die untere Grenze des »indifferenten« Helligkeitsgebietes noch nicht erreicht wird. Simon hat übrigens gezeigt, dass auch bei weiterer Abnahme der Helligkeit die Unterschiedsschwelle zuerst nur langsam wächst. Dass sie bei sehr großer Lichtstärke ebenfalls zunimmt, ist seit langem (Aubert, Helmholtz u. a.) bekannt. Da wir die Untersuchung an der Masson'schen Scheibe auf ziemlich kurze Distanz vornehmen dürfen, so kann der Apparat nahe dem Fenster aufgestellt, das Tageslicht also voll ausgenutzt werden.

Es darf nicht überraschen, dass Beleuchtungsschwankungen während der Untersuchung sich bei der Lichtsinnprüfung besonders geltend machen; haben wir ja oben bereits die Bedeutung der Adaptation für die Lichtsinnfunktion betont.

Samelsohn (22) fand das Auge empfindlicher für den hellen Ring auf dunklem Grunde als bei umgekehrter Anordnung. Er blickte auf die schwarze Scheibe durch eine kurze schwarze Pappröhre, so dass jene das ganze freie Gesichtsfeld ausfüllte. Es ist dies eine Untersuchung bei sehr geringer Helligkeit; das Dunkeladaptationsvermögen (s. § 111) kommt also wesentlich mit ins Spiel und die an den verschiedenen Untersuchungstagen ungleiche Stärke des Tageslichtes bedeutend mehr als für die helle Scheibe; beides lässt die Methode bedenklich erscheinen. Bei unseren Untersuchungen (s. u.) am normalen Auge war auffallend, wieviel leichter und sicherer die Entscheidung über die Sichtbarkeit des Ringes auf schwarzer Scheibe ist als auf weißer.

Singer (74) benutzte schwarze Scheiben mit einer mittleren weißen Ringzone, so dass die ganze Scheibe einer Kokarde gleicht. In den weißen Ring ragt von seinem peripheren Rande her bis zur Mitte der schwarze Sektor hinein. Bei der Rotation erscheint die centralere Ringhälfte demnach weiß, die peripher gelegene grau. Diese beiden Zonen dienen zum Helligkeitsvergleich. Die Anordnung soll den Vorteil einer sichereren Ablesung bieten, weil die Helligkeitsdifferenzen auf einen knappen Raum zusammengedrängt seien, der sich von der übrigen Scheibe scharf abhebe. Bei der Prüfung an der Masson'schen Scheibe

schweift aber der Blick, wie man sich leicht deutlich machen kann, über die Fläche hin, längs des eben auftauchenden Ringes. Hier wird dabei also das Bild der weißen Ringzone auf schwarzem Grunde im Kreise über die paracentrale Netzhaut geführt, was für die Adaptation nicht günstig sein kann.

§ 107. Nach den Ergebnissen früherer Untersuchungen (Aubert l. c. u. a.) sollte sich der Einfluss des Gesichtswinkels, unter dem der Ring auf der weißen Masson'schen Scheibe erscheint, in der Art auf die Unterschiedsschwelle äußern, dass diese mit kleiner werdendem Netzhautbild schnell wachse. Simon (l. c.) hat dem entgegen nach Ausschaltung der in Betracht kommenden Fehlerquellen (Adaptationsstörung, Wechsel der Ausdehnung des belichteten Netzhautbezirkes, allzu geringe Helligkeit u. a.) die überraschende Entdeckung gemacht, dass es ein Optimum giebt, von dem die Größe des Gesichtswinkels weder in dem einen noch dem anderen Sinne abweichen darf, ohne dass die Wahrnehmbarkeit des Ringes leide. Dies Optimum lag zwischen 15 und 30′. Bei sehr geringer Helligkeit stieg sein Winkelwert nicht unerheblich. Ich konnte die Beobachtung Simon's für gute Tagesbeleuchtung — bei niedriger Helligkeit habe ich nicht untersucht — an meinem eigenen und einem Kontrollauge bestätigen. Mir scheint hierbei der nicht fixierte, sich paracentral abbildende Teil des Ringes von Einfluss zu sein; denn setzten wir einen weißen Schirm mit centraler Öffnung vor die Masson'sche Scheibe, so dass nur ein Stück des Ringes sichtbar blieb, so konnte die Höhe des Sektors nunmehr in ziemlich weiten Grenzen variiert werden, ohne dass die Unterschiedsschwelle für mein Auge sich änderte. Bei sehr schmalem oder sehr breitem Ringe, jenseits einem Gesichtswinkel von 4′ bez. 12′30″, sank die Empfindlichkeit wieder allmählich. Für das Auge des assistierenden Kollegen schien sich das Optimum behaupten zu wollen, jedoch war der Unterschied der Nachbarwerte nach beiden Richtungen hin sehr klein und wesentlich geringer als bei Freigabe des ganzen Ringes. Ein ganz anderes Ergebnis erhielten wir mit hellem Ringe auf schwarzem oder, besser gesagt, dunkelgrauem Grunde, da unser Schwarz noch beträchtliches Licht reflektierte. Alle Ringbreiten zwischen 30′ und 7′ bezw. 4′ ergaben die gleiche Grenze der Wahrnehmbarkeit. Bei noch kleinerem Netzhautbilde stieg die Unterschiedsschwelle erheblich.

§ 108. Wie schon angedeutet, hängt die Unterschiedsempfindlichkeit auch von der Größe des beleuchteten Gesichtsfeldes ab. Frühere Untersucher (s. Landolt l. c.) fanden bereits, dass ein Hinausrücken der Scheibe die Unterschiedsschwelle wachsen lässt. Jedoch wird hierbei der Gesichtswinkel sowohl für die Scheibe, als auch für das Probeobjekt, den Ring, kleiner. Simon (l. c.) schaltete den letzteren Faktor aus, indem er die helle Scheibe aus verschiedener Entfernung betrachtete mit entsprechender Änderung der Sektorhöhe, oder der Scheibe ihren Platz beließ und

nach der Methode Müller-Lyer's (46) aus ihr durch zwischengeschobene verschieden große Diaphragmen ein kleineres oder größeres Feld herausschnitt. Er sah die Unterschiedsempfindlichkeit größer werden mit der Ausdehnung des hellen Netzhautbildes. Es ist damit für die Belichtung der peripheren Netzhaut der gleiche Einfluss auf die centrale Wahrnehmung dargethan, wie er für die Sehschärfe bereits mehrfach beobachtet und durch meine Untersuchungen (73) eingehender verfolgt wurde.

Wir haben demnach die Prüfung der Unterschiedsschwelle an der Masson'schen Scheibe unter stets dem gleichen Gesichtswinkel für Ring und Scheibe vorzunehmen. Die Ringbreite wird am besten entsprechend dem Optimum der Sichtbarkeit gewählt, also etwa zu 25′. Stellen wir mit Treitel (s. u.) die Scheibe in 1 m Entfernung vom Auge auf, so tritt die Akkommodation nicht merklich ins Spiel. Geringgradige Ametropien bleiben besser unkorrigiert, damit Störungen durch Reflexe an den Gläsern u. ähnl. vermieden werden. Treitel (57) fand, dass das Sehen in Zerstreuungskreisen hier erheblich weniger zu bedeuten hat, als für die Prüfung der Sehschärfe. Mittlere und höhere Grade wird man jedoch auszugleichen haben. — Von der Größe des Scheibendurchmessers war bereits die Rede. Man könnte ihn vielleicht allgemein auf 12 cm festsetzen. Zu begrüßen wäre es, wenn sich die sehr störende Schraube im Scheibencentrum beseitigen ließe. Bis dahin gebe man der Schraube thunlichst den Ton der Scheibenfläche. — Auch der Hintergrund, vor dem der Rotationsapparat steht, soll sich in seiner Helligkeit möglichst der Scheibe nähern, nicht lebhaft gefärbt und gleichmäßig sein. Am besten dient hierzu eine sogenannte spanische Wand. Die Adaptation störende Reflexe müssen jedenfalls verhindert werden.

§ 109. Eine zweite Art der Prüfung der Unterschiedsschwelle geschieht mit kleinen Feldern von verschiedener Helligkeit auf anders hellem Grunde. Tafeln mit solcherlei Quadraten oder Rechtecken sind verschiedentlich (Parinaud u. a.) angegeben worden. Das vom Grunde am wenigsten differierende, also hellste bezw. dunkelste Scheibchen, das noch eben gesehen wird, liefert das Maß für die Unterschiedsempfindlichkeit. Es bedarf keines Hinweises, dass die nicht fixierten, excentrisch gesehenen Objekte, soweit sie über der Schwelle der Wahrnehmbarkeit liegen, die Beobachtung stören.

Vermieden ist diese Fehlerquelle in Treitel's (37) Tafeln zur numerischen Bestimmung des Lichtsinnes. Sie sind auf Grund einer früheren Untersuchungsmethode dargestellt, bei der Treitel (36) hinter einem mattschwarzen Schirme mit centraler 10 mm² großer Öffnung eine Maxwell'sche Scheibe rotieren ließ, die Weiß und Schwarz in messbar veränderlichem Verhältnis mischte. Es entstand so ein verschieden helles graues

Objekt auf dem schwarzen Schirmgrunde. Treitel hatte gefunden, dass eine Sektoröffnung von 3° Weiß eine Helligkeitsdifferenz ergab, die unter physiologischen Verhältnissen fast ausnahmslos zur Wahrnehmung genügte, ohne dass sie stets deren unterste Grenze darstellte. Von dieser Differenz ausgehend ließ er 12 untereinander zusammenklappbar verbundene, mattschwarz überzogene Tafeln herstellen, 11 mit einem hellen Quadrat von 10 mm Seite in der Mitte, die zwölfte ganz schwarz. Die Helligkeit der Quadrate entspricht einer Sektorbreite von 3°, 6°, 9° bis 360° Weiß, sie zeigen also einen Lichtsinn an von 1, $^1/_2$, $^1/_3$ bis $^1/_{120}$ der Norm. Die Tafeln hält man, mit der ganz schwarzen beginnend, dem Patienten auf 1 m in Augenhöhe vor, bis er eine Helligkeitsdifferenz wahrnimmt.

Im Prinzip erfüllen sie alle Anforderungen, die an eine korrekte Lichtsinnprüfung zu stellen sind. Die technische Ausführung zeigt jedoch empfindliche Mängel. Das Schwarz des Grundes wird glänzend, zumal rings um das Quadrat herum, da das graue Scheibchen nicht in die Tafel eingelassen, sondern unter dem schwarzen Papier aufgelegt ist. Weiterhin nimmt das graue Quadrat bei längerem Gebrauche leicht etwas von dem Schwarz des ihm nach dem Zusammenklappen aufliegenden Papieres an und wird fleckig. Indem die Tafeln dem Patienten einfach vorgehalten werden, ist endlich die Gefahr einer Ablenkung der Aufmerksamkeit und Störung der Adaptation gegeben.

Die geringste Helligkeitsdifferenz an den Tafeln entspricht, wie schon erwähnt, einer Unterschiedsempfindlichkeit, die noch unter dem normalen Durchschnitte gelegen ist. Treitel empfiehlt deshalb, um eine etwa vorhandene geringe Lichtsinnstörung aufzudecken und vor allem zum Vergleich der Funktion beider Augen, die Prüfung mit dem dunkelsten Quadrat auch auf eine Entfernung über 1 m hinaus vorzunehmen. Dass sich dabei die Größe des Netzhautbildes ändert, schlägt er nicht hoch an: es handele sich ja nur um eine Verkleinerung desselben, man bleibe also innerhalb des ursprünglich gereizten Netzhautbezirkes. Lässt man selbst diese Abweichung von dem Prinzipe (s. o.), bei der Lichtsinnprüfung den Gesichtswinkel nicht zu ändern, gelten, so erreicht Treitel seinen Zweck doch wohl nur unvollkommen, wenigstens wenn ein Analogieschluss aus den vorliegenden Ergebnissen der Reiz- und Unterschiedsschwellenprüfung gestattet ist. Einschlägige Untersuchungen mit hellem Objekte auf dunklem Grunde bei Tageslicht sind bisher nicht gemacht worden. Wie oben erwähnt, kommt für die Reizschwelle der Gesichtswinkel des Objektes erst von 30′ abwärts in Betracht. An seinem Differentialphotoptometer sah Charpentier 30) mit leuchtendem Felde in andersheller Umgebung bei im übrigen dunklem Gesichtsfelde die Unterschiedsschwelle von der gleichen Grenze ab umgekehrt proportional der Ausdehnung des Netzhautbildes sich ändern, bei größerem Gesichtswinkel wuchs der Schwellenwert, wenn das

Netzhautbild kleiner wurde, fortschreitend erheblich langsamer. Für ein graues Objekt auf weißem Grunde bei Tagesbeleuchtung erhielt ich einen noch ausgeprägteren Unterschied. Treitel's (s. o.) Anordnung aufnehmend, setzte ich vor eine Weiß und Schwarz mischende Kombination zweier durcheinander gesteckter Scheiben einen mattweißen Schirm mit centraler runder Öffnung. Es standen mir drei solcher Schirme zu Gebote, deren Öffnungen verschieden groß waren. Damit der Lochrand auf das dahinter erscheinende Grau keinen Schatten werfe, muss die Scheibenkombination dem Schirme möglichst genähert werden. Der vorstehende Rand der durchgesteckten Scheibe reibt dann aber leicht an der hinteren Schirmfläche und hemmt die Rotation. Ich legte darum noch eine dritte weiße Scheibe mit sektorförmigem Ausschnitte auf. Der periphere Rand des Ausschnittes war graduiert, zur Ablesung der Breite des schwarzen Sektors. Nun wurde, auch wenn die Scheibe dem Schirme dicht anlag, die Reibung so gering, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit eine völlig genügende blieb. Es zeigte sich, dass bei Verminderung der Objektgröße bis hinab zu einem Gesichtswinkel von ca. 6′, die Unterschiedsschwelle sich nicht änderte: weitere Verkleinerung des Netzhautbildes verlangte ein stetes Breiterwerden des schwarzen Sektors.

Die geschilderte Einrichtung scheint mir auch zur klinischen Untersuchung der Unterschiedsschwelle die geeignetste zu sein. Es bedarf dann selbstredend, wie bei Treitel, wieder nur eines Schirmes. Die Öffnung wählen wir, damit das Objekt unter demselben Winkel gesehen wird, wie bei der Reizschwellenprüfung zu 9 mm Durchmesser, und stellen den Apparat 1 m vom Patienten auf, für einen zweckdienlichen (s. o.) Hintergrund Sorge tragend. Ist der Schirm ziemlich groß, was ja durch nichts gehindert wird, so kommt die Umgebung weniger in Betracht. Ein nicht zu dunkles Grau wird für jenen wiederum die beste Tönung sein. Ich bin mit der Konstruktion eines geeigneten Apparates beschäftigt; technische Schwierigkeiten, die bisher hindernd im Wege standen, werden voraussichtlich zu überwinden sein. Vor Beginn der Untersuchung lasse man den Patienten sich auf die Helligkeit des Schirmes adaptieren.

Katz (59) prüft den Lichtsinn mittelst einer schwarzen halben Hohlkugel mit einem schmalen Schlitze. Die Kugelschale wird dem Auge angelegt und dieses sieht durch den Schlitz auf eine schwarze Scheibe, die einen kleinen Ausschnitt zeigt, hinter dem auf einer zweiten Scheibe graue Töne von abgestufter Helligkeit erscheinen (s. auch Abschnitt VII).

Charpentier (40) hat eine »polarimetrische Methode« angegeben. In die außen weiße Wand eines innen mattschwarz überzogenen Kastens ist ein Loch geschnitten. Betrachtet man die Wand durch ein doppelbrechendes Prisma, so decken sich die weißen Flächen des Doppelbildes zum Teil. Das eine Bild des schwarzen Loches fällt außerhalb dieses gemeinsamen Teiles und wird vernachlässigt; das andere erscheint in halber Helligkeit des Grundes. Wird vor das

doppelbrechende Prisma ein Nikol gesetzt, so erhält der weiße Grund die Hälfte der ursprünglichen Helligkeit. In einer gewissen Nikolstellung ist die Stelle des Loches ebenso hell wie der Grund, bei der Drehung wird sie dunkler, bis ihre Helligkeit gleich Null ist. Man dreht nun den Nikol einmal so, dass das Loch eben sichtbar wird, ein zweites Mal, dass es eben verschwindet, und nimmt aus den beiden Winkelgrößen das Mittel. Die relative Helligkeit des dunklen Feldes lässt sich dann leicht bestimmen. Will man die Unterschiedsempfindlichkeit für ein helles Objekt auf dunklem Grunde prüfen, so bringt man ein undurchsichtiges Papier mit centralem Fettfleck vor eine Lichtquelle und verfahrt im übrigen wie eben.

§ 110. Die Untersuchung der Unterschiedsschwelle mit zeitlich getrennten, successiven Helligkeitsdifferenzen ist für klinische Zwecke nicht gebräuchlich. Wie Treitel (38) betont, fällt die Wahrnehmung einer Helligkeitsänderung schon dem normalen Auge viel schwerer als die Beurteilung des Unterschiedes zweier gleichzeitig dargebotener Lichtflächen. Die Versuchsanordnung lässt auch hier Variationen zu, die auf die Höhe des Schwellenwertes nicht ohne Einfluss bleiben (61). Man kann die Helligkeit des Objektes allmählich abschwächen oder verstärken, bis ein Unterschied merklich wird, wozu sich Charpentier's einfaches Photoptometer gut eignet, oder auch in Intervallen eine sich steigernde Helligkeit zufügen. Zu letzterem Zwecke beleuchtete Charpentier (35) an seinem Differentialphotoptometer die Objektscheibe von vorn in bestimmter Stärke und fügte von der Rückseite her Licht zu, das mittelst eines an einem Metronom pendelnden Schirmes $2^1/_2$ mal in der Sekunde unterbrochen wurde.

Guillery (65) bot dem Auge nacheinander zwei verschiedene, in ihrem Helligkeitsverhältnis variable Objekte dar. Zwei radiär aufgeschlitzte Scheiben von verschieden hellem Grau, die eine etwas größer, waren nach Art der Maxwell'schen Kombination (s. o.) durcheinander gesteckt und rotierten koncentrisch. Ein schwarzer Schirm mit einer kleinen Öffnung stand davor, durch die man bei leichten seitlichen Bewegungen des hinten angelehnten Kopfes bald auf die kleinere, bald auf den überstehenden Rand der größeren Scheibe einstellen konnte. Es galt, die geringste Breite des durchgesteckten Sektors zu finden, die zur Wahrnehmung eines Helligkeitsunterschiedes genügte. Durch Abstufen der Entfernung zwischen Schirm und Scheibe ließ sich die Objektgröße leicht messbar variieren.

§ 111. Im Anschluss an die Schwellenprüfung des Lichtsinnes verdient besprochen zu werden die Untersuchung der verschiedenen Funktionen des centralen Sehens bei verminderter allgemeiner Helligkeit, i. e. die Prüfung auf Hemeralopie.

Wie wir mit Treitel (s. o.) annehmen dürfen, erhalten wir dadurch im wesentlichen Aufschluss über die Adaptationsfähigkeit des Auges. Förster

(3 und 5) verdanken wir die Erkenntnis von der Wichtigkeit dieses Untersuchungsmodus. Er hat auch eine sehr brauchbare Methode angegeben zur:

a) Prüfung der Sehschärfe bei niedriger Beleuchtung. Förster's »Photometer« stellt einen viereckigen Kasten dar, 30 cm lang, 15 cm hoch, 20 cm breit, der an einer Schmalwand zwei Öffnungen zum Anlegen der Augen und neben der einen ein mit weißem Schreibpapier bekleidetes 5 cm² großes Lichtfenster hat. Das Papier wird beleuchtet von einer Kerze in einer kleinen Laterne an der Außenseite der Kastenwand. Eine Feder drückt die Kerze in einer Tülle nach oben, so dass die Flamme stets gegenüber der Fenstermitte steht. Die von dem Papierquadrat in den Kasten ausstrahlende Helligkeit wird messbar variiert durch eine verstellbare Blende, wie sie Aubert später bei seinem Dunkelzimmerdiaphragma verwandt hat und wie sie oben (s. § 97) beschrieben ist. Die Blendenöffnung kann von 1500 qmm auf 1 qmm reduziert werden; ihre Seitenlänge wird abgelesen an einer aus dem Kasten herausragenden Skala mit Index. Durch einen Schlitz nahe der Rückwand des Kastens schiebt man die Probeobjekte ein: 1—2 cm breite, 5 cm lange schwarze Striche auf weißem Papier. Nachdem der Patient die Augen an die Gucklöcher gebracht, erweitert der Untersucher allmählich die Blende, bis jener die schwarzen Striche eben unterscheidet. Das »Lichtempfindungsvermögen« ist dann umgekehrt proportional der erforderlichen Größe der leuchtenden Fläche. Wird diese für das gesunde Auge mit h, für das zu untersuchende mit H bezeichnet, so lässt sich die Funktion dieses ausdrücken durch die Formel $L = \frac{h}{H}$. Da das normale Auge nach Förster eine Blendenöffnung von 2 mm² benötigt, so ist, wenn man dies als Einheit nimmt, die an der Skala erhaltene Zahl für das kranke Auge durch 2 zu dividieren. Der Bruch $\frac{h}{H}$ erhält dann stets den Zähler 1 und drückt sofort aus, welche Quote des normalen Sehvermögens vorhanden ist.

Der Konstruktion und Berechnung bei dem Förster'schen Instrument haften einige Fehler an. Urbantschitsch (23) macht darauf aufmerksam, dass das Lichtfenster nicht der Mitte der Objekttafel gegenüberliegt, die einzelnen Striche darum nicht in gleicher Weise beleuchtet werden. Auch kommt, wie Wolffberg (39) hervorhebt, nicht allen Punkten der Leuchtfläche der gleiche Helligkeitswert zu; er wird um so geringer, je excentrischer jene liegen. Treitel (48) machte dies deutlich, indem er das Papier bei weiter Blende mit einem undurchsichtigen Karton bedeckte, der zwei kleine Löcher hatte, ein peripheres und ein centrales; ersteres erschien um die Hälfte dunkler als dieses. Die Verkleinerung des Quadrates berührt also die der Papiermitte gegenüberliegenden Striche am wenigsten und die Beleuchtungsstärke nimmt nicht genau proportional der Blenden-

öffnung ab. Endlich betont SAMELSOHN (22) mit Recht, dass das Objekt für eine centrale Funktionsprüfung zu groß sei; es wird die paracentrale Netzhaut sehr erheblich mit in Anspruch genommen und ein Funktionsausfall der Netzhautmitte kann leicht verborgen bleiben, während Einengung des Gesichtsfeldes andererseits eine stärkere Beleuchtung erfordert, ohne dass centrale Hemeralopie vorzuliegen braucht. Untersucht man jedoch bei kleinerem Gesichtswinkel, so gewinnt ein anderer, prinzipieller Vorwurf gegenüber FÖRSTER's Methode an Bedeutung (11), dass sie nämlich ohne weiteres Augen von sehr verschiedener »Tageslicht-Sehschärfe« miteinander vergleiche. Dies fällt, wie BJERRUM und OLE BULL bemerken, erheblich weniger ins Gewicht, wenn das Objekt unter großem Gesichtswinkel erscheint, was auch FÖRSTER's Resultate selbst bestätigen. Seinem Untersuchungsmodus bleibt unbestritten das Verdienst (TREITEL), einen zahlenmäßigen Ausdruck für die Funktionsstörung mit den erwähnten Einschränkungen zu geben.

Der Untersuchung am »Photometer« hat eine ausgiebige Dunkeladaptation vorherzugehen, wenn man vergleichbare Resultate erzielen will; denn es ist selbstredend nicht gleichgültig, welcher Beleuchtung das Auge kurz vorher ausgesetzt war. FUCHS (67) erhielt gleich nach dem Eintritte aus einem hellen Raume ins Dunkelzimmer am Instrumente einen Bruch von $^1/_{49}$, der nach sehr kurzer Adaptation auf $^1/_{25}$ stieg; bei einer anderen Beobachtung ergaben sich Werte von $^1/_{42}$ auf $^1/_6$.

Obschon FÖRSTER als Zweck seines Instrumentes angiebt, das Verhalten der Sehschärfe bei Änderung der Beleuchtung, »das Missverhältnis zwischen Abnahme des Lichtsinnes und des Raumsinnes bei vielen Fällen von Amblyopie« zu studieren, nannte er es »Lichtsinnmesser«, entsprechend seiner Auffassung, dass »die Empfindlichkeit der Retina für Licht (Lichtsinn)« gemessen werde, indem man ein Objekt von stets gleicher Größe unter beliebig zu verändernde Beleuchtung bringe. Nach ihm wird bis auf den heutigen Tag nicht nur der Name »Photometer«, will sagen »Photoptometer«, für den Apparat beibehalten, sondern auch die Methode schlechtweg als Prüfung des centralen Lichtsinnes angegeben. Dass dies nicht zutrifft, bedarf nach den obigen Ausführungen über den Begriff des Lichtsinnes und die Art seiner Untersuchung keines besonderen Nachweises. Es wurde bereits geschildert, wie TREITEL das Instrument zur centralen Reizschwellenprüfung eingerichtet hat. Die ursprüngliche FÖRSTER'sche Anordnung ist für die Lichtsinnuntersuchung schon wegen der Form des Objektes untauglich. Denn stellt, wie wir sahen, sein Erkennen auch keine großen Anforderungen an die Sehschärfe, eine Funktion des Raumsinnes bedeutet die getrennte Wahrnehmung distinkter Objekte immerhin, und eine erhebliche Herabsetzung desselben wird an sich nicht ohne Einfluss auf das Resultat sein. Wir müssen aber stets wieder fordern, dass die Prüfung der

einzelnen Funktionen möglichst rein geschehe; so dürfen wir am ehesten hoffen, über den normalen Sehakt und das Wesen pathologischer Störungen volle Klarheit zu erhalten.

Snellen und Landolt (8) haben eine Modifikation des Photometers angegeben, die es zu einem wirklichen Lichtsinnmesser machen sollte. Die Objekttafel ersetzten sie durch eine halb schwarze, halb weiße Scheibe; das Innere des Kastens wurde mattschwarz ausgekleidet, damit das Objekt sich in dunklem Raume darbiete. Der Ausschnitt wird wiederum so weit geöffnet, bis eben ein Helligkeitsunterschied zwischen den beiden Tafelhälften sichtbar ist. Das Moment der Sehschärfeprüfung fällt bei dieser Anordnung weg. Was es leisten will, erfüllt das Instrument aber doch nicht ganz; nicht das für eine Wahrnehmung erforderliche Unterschiedsminimum zwischen den beiden Tafelhälften wird bestimmt — dies würde nur zutreffen, wenn das schwarze Papier kein Licht reflektierte —, sondern die niedrigste Beleuchtung, bei der eine Differenzierung möglich ist. Die Autoren waren sich übrigens selbst (l. c.) dieses Mangels ihrer Anordnung bewusst.

Den eigentlichen Zweck des Förster'schen Photometers prägte Landolt (12) bestimmter aus, indem er die schwarzen Streifen durch Snellen'sche Buchstaben ersetzte.

Während Förster das Beleuchtungsminimum aufsuchte, bei dem das Auge einen gewissen, sehr geringen Sehschärfewert erreichte, stellte Ad. Weber (7) den niedrigsten Helligkeitsgrad fest, der die Funktion auf der bei Tageslicht erlangten Höhe erhielt. Er ging von der Beleuchtung aus, bei der das normale Auge noch eine bestimmte Größe Snellen'scher Buchstaben in einer Entfernung lesen kann, in der jede Abschwächung der Helligkeit die Sehschärfe vermindert. Zu dem Zwecke ist im Dunkelzimmer eine Snellen'sche Tafel von vorn her durch eine $^1/_3$ m² große Lichtfläche erhellt. Die Beleuchtung wird durch Vorsetzen von Platten, die auf ihre Lichtabsorption geprüft sind, auf den angegebenen Punkt gebracht, was der Untersucher, neben dem Patienten stehend, an seiner eigenen Sehschärfe feststellt. Sinkt dabei die Tageslicht-Sehschärfe des zu prüfenden Auges, so nimmt man eine oder mehrere Platten weg, bis die Funktion wieder auf die bezeichnete Höhe steigt. Weber vergleicht also Individuen mit verschiedener Tageslicht-Sehschärfe ohne weiteres miteinander, untersucht also nicht stets unter demselben Gesichtswinkel. Darin liegt eine Fehlerquelle verborgen, weil, wie Bjerrum (26) nachgewiesen hat, die Abnahme des Kontrastes zwischen Sehzeichen und Grund sowohl, wie der allgemeinen Helligkeit um so geringeren Einfluss auf die Sichtbarkeit eines Objektes haben, je größer der Gesichtswinkel wird.

Schnabel (10) lässt das Auge durch eine lichtdicht anliegende Röhre, die ein Diaphragma mit centraler Öffnung enthält, auf die Snellen'sche Tafel

blicken. Nachdem die Sehschärfe bestimmt ist, wird der Öffnung ein Rauchglas vorgeschoben und nach einer Adaptation von 5 Minuten der Visus kontrolliert. Man fügt so oft ein weiteres Glas hinzu, bis die Funktion abnimmt.

In einem Gehäuse nach Art eines Opernglases setzt Schmidt-Rimpler (9) nacheinander Rauchgläser von abgestufter Lichtdurchlässigkeit vor. Als Norm dient ebenso wie bei Schnabel die Sehschärfe des normalen Auges für die gleiche Helligkeit.

Berry (17) lässt Snellen'sche Buchstaben durch ein spaltförmiges Diaphragma betrachten, vor dem ein verschiebliches, mit schwarzer Tuschelösung gefülltes Glasprisma angebracht ist. Der Untersucher stellt das Prisma so ein, dass er eine bestimmte Buchstabengröße noch eben erkennt; dann thut der Patient für sein Auge das gleiche, und die hierzu nötige Verschiebung des Prismas giebt einen zahlenmäßigen Ausdruck für den Grad der durch die benutzte Flüssigkeitsschicht gesetzten Verdunkelung.

Bei den genannten Methoden wird, wie geschildert, die Helligkeit des Gesichtsfeldes im ganzen variiert; das Helligkeitsverhältnis zwischen Objekt und Grund bleibt so lange unverändert, als die Beleuchtung einigermaßen beträchtlich ist, da das Schwarz ja ebenfalls Licht reflektiert. Aubert (l. c.) hat hierauf schon hingewiesen, und man kann sich dies leicht deutlich machen, wenn man durch die Rauchgläser des Brillenkastens auf die Sehprobentafel blickt; es werden die Buchstaben mit der größeren Dunkelheit der Gläser immer tiefer schwarz. Bei sehr niedriger Beleuchtung wird die von dem Schwarz reflektierte Lichtmenge schließlich unmerklich, so dass die weitere Verdunkelung nur das Weiß betrifft, also das Helligkeitsverhältnis zwischen Objekt und Grund sich ändert.

Eine andere Art der Untersuchung auf Hemeralopie mittelst der Sehschärfeprüfung besteht darin, dass man die allgemeine Beleuchtung unverändert lässt und nur die Helligkeit des Objektgrundes abstuft. Durchweg wird hier der Kontrast gegenüber den Sehzeichen geringer sein als für die gleiche Verdunkelung nach dem eben geschilderten Modus.

Seggel (47, 51, 52) hat Tafeln herstellen lassen mit schwarzen Snellen'schen Probebuchstaben auf verschieden hellem Grau, dessen drei Nuancen durch Prüfung der Sehschärfe empirisch festgelegt wurden. Als Tafel I gilt die gewöhnliche Snellen'sche mit weißem Grunde. Tafel II ist so gewählt, dass bei guter Beleuchtung für das normale Auge noch eine Sehschärfe von $^6/_6$ erzielt wird, Tafel III ergiebt unter gleichen Verhältnissen $S = {}^6/_9$, Tafel IV $S = {}^6/_{18}$. Eine etwaige Ametropie wird vor der Untersuchung korrigiert. Erweist sich die Sehschärfe des Patienten schon für Tafel I herabgesetzt, so geschieht die Prüfung auf entsprechend geringere Distanz, bis eben die unterste Zeile gelesen wird. Diese Verminderung des Abstandes von den Sehzeichen vernachlässigt man bei der Berechnung

der Funktionsstörung. Letztere drückt sich aus in dem Verhältnis des an Tafel II, III oder IV erhaltenen Sehschärfewertes zu demjenigen, der dem normalen Auge entspricht. Ist beispielsweise für Tafel III $S = {}^{6}/_{18}$, so hat das Auge nur die Hälfte der normalen (Unterschiedsempfindlichkeit), wie SEGGEL meint; indem er glaubt, mit seinen Tafeln die Unterschiedsschwelle zu prüfen. Es leuchtet nach den obigen Ausführungen ein, wie weit SEGGEL's Methode hiervon entfernt ist; zum Nachweis der Hemeralopie erscheint sie jedoch geeignet. SEGGEL empfiehlt auch die Untersuchung an den Tafeln im verdunkelten Raume und benutzt zur gradweisen Herabsetzung der Helligkeit den WOLFFBERG'schen Seidenpapierapparat (s. u.); im allgemeinen dient jedoch die Sehschärfe des Untersuchers als Maßstab. Der Autor will so befriedigenden Aufschluss über die »Reizschwelle« erzielen.

ALBERTOTTI's (63, 64) graue Tafeln mit schwarzen oder auch mit weißen Sehzeichen haben das Besondere, dass die einzelnen Helligkeitsstufen des Grau hergestellt sind durch verschieden dicke Schraffierung von Schwarz und Weiß. Bei der Entfernung, auf die untersucht wird, lassen sich die Schraffen nicht mehr unterscheiden, und der Grund erscheint gleichmäßig grau.

b) Zur Untersuchung des Lichtsinnes bei schwachen Helligkeiten sind die gleichen Methoden zu benutzen wie für die Sehschärfe, mit entsprechender Änderung des Objektes. SINGER (l. c.) setzte in dem FÖRSTER'schen Photometer an die Stelle der Rückwand des Kastens eine MASSON'sche Scheibe in der oben (§ 106) beschriebenen Modifikation. Als Lichtquelle hinter dem Papierfenster aus grauweißem, durchfettetem Fließpapier diente eine elektrische Glühlampe, deren Faden dem Bereiche der weit geöffneten Blende entsprach, so dass jedem Abschnitte der Leuchtfläche ein gleicher Helligkeitswert zukam. Es galt, das Beleuchtungsminimum festzustellen, bei dem eine gewisse Helligkeitsdifferenz zwischen den Ringen auf der Objekttafel unterschieden wurde. Hier verdient ebenfalls die MASSON'sche Scheibe in ihrer ursprünglichen Gestalt den Vorzug.

Die Prüfung auf Hemeralopie lässt sich auch im hellen Raume vornehmen, indem man für bestimmte Beleuchtungsgrade die Unterschiedsschwelle aufsucht und mit derjenigen des normalen Auges vergleicht.

c) Das Verhalten der Farbenwahrnehmung bei verschiedener Helligkeit hat WOLFFBERG (39) untersucht. Er nennt seine Methode eine Lichtsinnprüfung, davon ausgehend, dass es nicht berechtigt sei, die durch farblose Helligkeiten ausgelösten Empfindungen von denjenigen einer bestimmten Farbe zu trennen. Und da, wie WOLFFBERG fand, die Farbenwahrnehmung von der Intensität der Beleuchtung beträchtlich mehr beeinflusst wird als die farblose Helligkeitsempfindung, so stelle sie das feinere Reagens für Lichtsinnanomalien dar. An anderer Stelle dieses Werkes wird gezeigt werden,

dass die Sonderung zwischen Licht- und Farbensinn, wie sie Aubert (l. c.) durchführte, sich durchaus empfiehlt. Die Erfahrungen bei experimentellen und klinischen Untersuchungen des centralen und excentrischen Farbensinnes erweisen dies zur Genüge. Immerhin hat die Methode Wolffberg's ihren Wert zur Aufdeckung von Hemeralopie; sie gestaltet sich folgendermaßen: Der Autor stellte empirisch fest, unter welchem Gesichtswinkel bei bester Tageshelligkeit ein weißes Objekt auf möglichst dunklem Grunde für ein Auge von mehr als normaler Sehschärfe noch eben sichtbar, und Objekte in den vier Hauptfarben noch eben richtig zu erkennen waren. Indem er dann umgekehrt die Helligkeit, bei der die Funktion auf der so gefundenen Höhe blieb, als Einheit nahm, schwächte er die Beleuchtung messbar ab durch Vorsetzen von Seidenpapierblättern vor die einzige Lichtquelle des Untersuchungszimmers, einen Ausschnitt im dicht geschlossenen Fensterladen. Bei der stufenweisen Verdunkelung des Raumes bedarf das Auge immer größerer Objekte. Als solche dienen auf schwarzen Sammettafeln in Querreihen untereinander angeordnete farbige Scheibchen. Die Helligkeit, bei der die einzelne Reihe vom normalen Auge richtig erkannt wird, ist neben jeder derselben vermerkt. Das unterwertige Auge wird bei einem gewissen Beleuchtungsgrade nicht die zugehörigen, sondern nur noch die einer stärkeren Helligkeit entsprechenden größeren Objekte differenzieren können. Der Unterschied zwischen den beiden Reihen entsprechenden Größen drückt die Verminderung der Funktion aus.

Wolffberg (60) bezeichnet seine Methode späterhin als eine Prüfung des »Farbenlichtsinnes« und sieht in ihr die Ergänzung der Untersuchung am Förster'schen Photometer; auch vereinfachte er den Apparat (43). Vor allem aber änderte er die Forderung an den zu Untersuchenden dahin, dass dieser bei der Annäherung des Objektes anzugeben hat, wann er das farbige Scheibchen eben als Helligkeit vom Grunde differenziert. Damit ist die Helligkeitsvalenz des Objektes das Entscheidende für die Wahrnehmung und der Farbensinn bleibt völlig außer Betracht. Als quantitative Farbensinnprüfung hat übrigens auch der ursprüngliche Modus Wolffberg's — worauf bereits verschiedene Autoren hingewiesen haben — den Mangel, dass ihm die Größe des Gesichtswinkels zu Grunde lag.

§ 112. Die Sehschärfeprüfung mit verschieden hellen Objekten auf gleichbleibendem Grunde möge hier noch Erwähnung finden, da sie dem Zwecke der Lichtsinnuntersuchung dienen sollte.

v. Hippel (6) erstrebte mit seinem »Photometer« den Vergleich des Lichtsinnes mit dem Raumsinn. Er stufte die Helligkeit des leuchtenden Objektes ab und ließ den Grund ganz dunkel. Ein geschwärzter Blechkasten im Dunkelzimmer birgt eine Petroleumlampe von kontrollierbarer Flammenhöhe, deren Licht ein Hohlspiegel in einen Cylinder an der vorderen

Kastenwand entwirft. Zwei Konvexlinsen am hinteren Ende des Cylinders verteilen die Helligkeit gleichmäßig auf Milchglasplatten, die am vorderen Cylinderende eingeschoben werden. Vor diese bringt man schwarze Blechscheiben, aus denen Snellen'sche Buchstaben ausgeschnitten sind. Man prüft zunächst die Sehschärfe bei Tageslicht, lässt das Auge 10 Minuten sich dunkeladaptieren und bietet ihm, nachdem sechs Milchglasplatten eingeschoben sind, auf 6 m Buchstaben dar von der Größe, wie sie der so gefundenen Sehschärfe entsprechen. Bei dieser Helligkeit der Sehzeichen hat ein normales Auge noch vis. = 1. Erscheint die Funktion herabgesetzt, so wird eine Platte nach der anderen entfernt, bis volle Tageslicht-Sehschärfe erreicht ist.

Ole B. Bull (14) untersuchte bei Tageslicht mit zwei schwarzen Tafeln, auf denen graue Buchstaben von zehnfach abgestufter Helligkeit ausgespart sind. Die Nuancen des Grau wurden an der rotierenden Scheibe hergestellt aus Schwarz mit verschieden breitem weißem Sektor, dessen Helligkeit zu der des Schwarz im Verhältnis 192 : 1 stand. Ole Bull fand, dass die meisten normalen Augen den Buchstaben erkannten, dessen Grau mit einem Sektor von 2° gewonnen war; die Funktion des untersuchten Auges lässt sich also ausdrücken durch einen Bruch mit dem Zähler 2, während der Nenner die Gradzahl des für den dunkelsten entzifferten Buchstaben erforderlichen weißen Sektors angiebt. Bei geringen Graden allgemeiner Helligkeit ändert sich, da das Schwarz dann als lichtlos anzusehen ist, das Helligkeitsverhältnis zwischen Objekt und Grund. Man berechnet darum in solchen Fällen die relative Helligkeit der Sehzeichen nach ihrem Verhältnis zum Weiß. Es kommt dies nur für die Prüfung auf Hemeralopie in Betracht, wobei Rauchgläser vor das Auge geschoben werden (s. o.), im übrigen verlangt der Autor ausdrücklich gutes Tageslicht.

Bjerrum's Tafeln (l. c.) haben weißen Grund; neben einer gewöhnlichen Snellen'schen sind noch vier weitere vorhanden mit grauen Buchstaben. Setzt man die Helligkeit der gewöhnlichen schwarzen Sehzeichen = 0 und den Helligkeitsunterschied zwischen diesen und dem weißen Grunde = 1, so haben die Zeichen auf Tafel II, III, IV und V die Helligkeit 0,6, 0,7, 0,8 und 0,9; die Helligkeitsdifferenz ist gleich $^4/_{10}$, $^3/_{10}$, $^2/_{10}$ und $^1/_{10}$. Es wird festgestellt, bei welcher der nach der Reihe vorgeführten Tafeln die Sehschärfe des untersuchten Auges abnimmt gegenüber der an der gewöhnlichen Snellen'schen gefundenen. Bjerrum untersuchte weiterhin ebenfalls bei beschränkter Beleuchtung, deren Grad er teils photometrisch bestimmte, bei den niedrigen Werten nach seiner eigenen Sehschärfe schätzte.

Müller-Lyer und Mendelssohn (46) malten sich auf dickes weißes Löschpapier mit Tuschelösung verschiedener Verdünnung Sehzeichen auf, 10 cm groß, in Grau von 52 Abstufungen. Der zu Untersuchende las auf eine Distanz von 40 cm.

Albertotti (l. c.) hat nach der oben (§ 111) angegebenen Methode auch weiße Tafeln mit verschieden hellen Buchstaben hergestellt.

So verdienstvoll insbesondere die Arbeiten Bjerrum's und Ole Bull's zur systematischen Behandlung eines bis dahin über Gebühr vernachlässigten klinischen Untersuchungsgebietes waren, so sind doch die vorstehend beschriebenen Methoden nicht als exakte Funktionsprüfung anzusehen: weder für den Lichtsinn (Schwellenwert) noch — an sich — für die Hemeralopie. Eine auf solche Weise gefundene Herabsetzung der Funktion gegenüber dem Visus an der Snellen'schen Tafel weist freilich, wie zugegeben werden muss, auf eine Störung des Lichtsinnes hin, sie bleibt aber den Aufschluss über die Art und den Grad dieser Störung schuldig; überdies werden wiederum Raum- und Lichtsinn auf das engste miteinander verquickt.

Treitel (l. c.) bemerkt speziell in Rücksicht auf Bjerrum's Tafeln — es gilt dies aber auch für fast alle anderen —, dass sie schon darum kein Maß für eine Verminderung der Unterschiedsempfindlichkeit geben können, weil selbst die hellsten (dunkelsten) Buchstaben nicht die geringste wahrnehmbare Helligkeitsdifferenz gegenüber dem Tafelgrunde darstellen. Wenn dann weiterhin aber Treitel meint, Buchstaben seien für die Lichtsinnprüfung so zu verwenden, dass zunächst der Visus in der üblichen Weise bestimmt werde, und dann mit Buchstaben, die der gefundenen Sehschärfe entsprechen, in verschieden hellem Grau auf weißem Grunde der noch eben sichtbare Helligkeitsunterschied, so ist dabei mindestens die Wahl des Objektes zur Lichtsinnuntersuchung keine glückliche: *L* und *P* und *O* und *B* ergeben ceteris paribus nicht den gleichen Wert für die Unterschiedsschwelle.

Es ist darum ratsamer, sich auf die exakten Untersuchungsmethoden des Schwellenwertes und der Hemeralopie als Ergänzung der Prüfung des Raumsinnes bei Tageslicht und des Farbensinnes zu beschränken.

Litteratur.

Photoptometrie (Untersuchung des Lichtsinnes).

1845. 1. Masson, A., Études de photométrie électrique. Ann. de Chim. et de Phys. 3. Série. XIV. S. 129.

1856. 2. Maxwell, J. C., On a theory of compound colours with reference to mixtures of blue and yellow light. Edinb. Journ. IV. S. 335.

1857. 3. Förster, R., Über Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers in der Ophthalmologie. Breslau.

1865. 4. Aubert, H., Physiologie der Netzhaut. Breslau.

1871. 5. Förster, R., Der Lichtsinn bei Krankheiten der Chorioidea und Retina. Bericht über d. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 337.

6. v. Hippel, A., Demonstration eines Photometers. Bericht über d. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 346.

1871. 7. Weber, Ad., Diskussion zu vorstehendem Vortrage. Bericht über d. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 349.

1874. 8. Snellen, H., und Landolt, E., Photoptometrie. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. III, 1. S. 22.

1876. 9. Schmidt-Rimpler, H., Vorlegung eines Apparates zur Bestimmung des Lichtsinnes. Bericht über d. 49. Vers. deutscher Naturf. u. Ärzte zu Hamburg. S. 119.

10. Schnabel, J., Die Begleit- und Folgekrankheiten der Iritis. Arch. f. Augenheilk. V. S. 101.

1879. 11. Mauthner, L., Die Funktionsprüfung des Auges. Wiesbaden.

12. Landolt, E., Photométrie et Photoptométrie. Traité complet d'Opht. par L. de Wecker et E. Landolt. I. S. 511. Paris.

1880. 13. Charpentier, A., Sur les variations de la sensibilité lumineuse suivant l'étendue des parties rétiniennes excitées. Compt. rend. de l'Acad. des Sc. XCI. S. 995.

1881. 14. Bull, Ole B., Studien über Lichtsinn und Farbensinn. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVII, 1. S. 54.

15. Charpentier, A., Remarques sur la sensibilité différentielle de l'oeil. Arch. d'Opht. I. S. 152.

16. Parinaud, H., Détermination numérique de l'acuité visuelle pour les couleurs et la lumière. — Chromoptomètre. Ann. d'Ocul. LXXXV. S. 113.

1882. 17. Berry, G. A., On a practical test for the light sense. Ophth. Rev. London. 1881/82. I. S. 175.

18. Bjerrum, J., Undersögelser over formsans og lyssans i forskjellige ögensygdomme. Kopenhagen.

19. Charpentier, A., Sur la sensibilité de la rétine. Arch. d'Opht. II. S. 234.

20. Charpentier, A., Description d'un photoptomètre différentiel. Arch. d'Opht. II. S. 418.

21. Charpentier, A., Note complémentaire relative à l'influence de la surface sur la sensibilité lumineuse. Arch. d'Opht. II. S. 487.

22. Samelsohn, J., Zur Anatomie und Nosologie der retrobulbären Neuritis (Amblyopia centralis). v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVIII, 1. S. 1.

23. Urbantschitsch, O., Über den Einfluss von Trigeminusreizen auf die Sinnesempfindungen, insbesondere auf den Gesichtssinn. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXX. S. 129.

1883. 24. Becker, Neue Untersuchungen über excentrische Sehschärfe und ihre Abgrenzung von der centrischen. Inaug.-Diss. Halle.

25. Butz, R., Untersuchungen über die physiologischen Funktionen der Peripherie der Netzhaut. Inaug.-Diss. Dorpat.

1884. 26. Bjerrum, J., Untersuchungen über den Lichtsinn und den Raumsinn bei verschiedenen Augenkrankheiten. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXX, 2. S. 200.

27. Bjerrum, J., Du sens de la clarté. Congr. internat. des sc. méd. Compte rend. de la sect. opht. Copenhague. S. 11.

28. Charpentier, A., Note additionelle relative à une modification de mon photoptomètre différentielle. Arch. d'Opht. IV. S. 307.

29. Charpentier, A., Nouveau modèle d'instrument destiné à l'examen clinique de la sensibilité lumineuse et de la perception des couleurs. Arch. d'Opht. IV. S. 210.

30. Charpentier, A., Perception des différence de clarté. Arch. d'Opht. IV. S. 400.

31. Miéville, E., Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumineux et chromatique. Arch. d'Opht. IV. S. 113 u. 423.

32. Pflüger, E., Neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Licht- und Farbensinnes. Bericht über d. 16. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 182.

1884. 33. Samelsohn, J., De l'importance de l'examen du sens de la lumière pour la pratique ophtalmologique. Congr. internat. des sc. méd. Compte rend. de la sect. d'opht. Copenhague. S. 25.

34. Wolffberg, L., Méthode d'examen du sens de la lumière basée sur la dépendance du sens des couleurs vis à vis du sens de la lumière. Congr. internat. des sc. méd. Compte rend. de la sect. d'opht. Copenhague. S. 341.

1885. 35. Charpentier, A., Recherches sur la perception différentielle successive. Arch. d'Opht. V. S. 1.

36. Treitel, Th., Eine neue Methode der numerischen Bestimmung des Lichtsinnes. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 4.

37. Treitel, Th., Tafeln zur numerischen Bestimmung des Lichtsinnes. Königsberg.

38. Treitel, Th., Über Hemeralopie und Untersuchung des Lichtsinnes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXI, 1. S. 139.

39. Wolffberg, L., Über die Prüfung des Lichtsinnes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXI, 1. S. 1.

1886. 40. Charpentier, A., Méthode polarimétrique pour la photoptométrie et le mélange des couleurs. Arch. d'Opht. VI. S. 40.

41. Charpentier, A., La sensibilité lumineuse et l'adaptation rétinienne. Arch. d'Opht. VI. S. 196.

42. Charpentier, A., Expériences sur la marche de l'adaptation rétinienne. Arch. d'Opht. VI. S. 294.

43. Wolffberg, L., Eine einfache Methode, die quantitative Farbensinnprüfung diagnostisch zu verwerten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXIV. S. 359.

1887. 44. Charpentier, A., Nouveaux faits sur la sensibilité lumineuse. Arch. d'Opht. VII. S. 13.

45. Herzog, B., Über den praktischen Nutzen des Wolffberg'schen Apparates zur diagnostischen Verwertung der quantitativen Farbensinnprüfung. Inaug.-Diss. Königsberg.

46. Müller-Lyer, F. C., Experimentelle Untersuchungen zur Amblyopiefrage. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) S. 400.

47. Seggel, K., Sehprobentafeln zur Prüfung des Lichtsinnes. Bericht über d. 19. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 202.

48. Treitel, Th., Über das Verhalten der normalen Adaptation. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIII, 2. S. 82.

1888. 49. Fick, A. E., Studien über Licht- und Farbenempfindung. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 441.

50. Hering, E., Eine Vorrichtung zur Farbenmischung, zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Kontrasterscheinungen. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLII. S. 119.

51. Seggel, K., Über die Prüfung des Licht- und quantitativen Farbensinnes. Arch. f. Augenheilk. XVIII. S. 303.

52. Seggel, K., Sehprobentafeln zur Prüfung des Lichtsinnes. München.

1889. 53. Basevi, V., Influenza dell' adattamento sulla sensibilità retinica per la luve e per i colori. Ann. di Ottalm. S. 475.

54. Treitel, Th., Über den Lichtsinn der Netzhautperipherie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXV, 1.

55. v. Helmholtz, H., Das Eigenlicht der Netzhaut. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. I. S. 5.

1890. 56. Schirmer, O., Über die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für den Lichtsinn. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 4. S. 121.

57. Treitel, Th., Weitere Beiträge zur Lehre von den Funktionsstörungen des Gesichtssinnes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 3. S. 99.

1891. 58. Treitel, Th., Weitere Beiträge zur Lehre von den Funktionsstörungen des Gesichtssinnes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVII, 2. S. 152.

1893. 59. Katz, R., Apparat zur numerischen Bestimmung der centralen und peripheren Lichtempfindlichkeit des Auges (Lichtsinnperimeter). Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 73.

60. Wolffberg, L., Über die Funktionsprüfungen des Auges. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 158.

1894. 61. Stern, William, Die Wahrnehmung von Helligkeitsveränderungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. VII. S. 249.

62. Dimmer, F., Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Macula lutea des Menschen. Wien.

1895. 63. Albertotti, G., Esperienza di ottica fisiologica intorno alle variazioni dell' angolo visuale rispondenti alle luce decrescente. Ann. di Ottalm. XXIV. S. 93.

64. Albertotti, G., Note riguardenti l'effetto di optotypi costanti o variabili sopra fondo variabile o costante. Ann. di Ottalm. XXIV. S. 157.

65. Guillery, H., Über die räumlichen Beziehungen des Lichtsinnes und Farbensinnes. Arch. f. Augenheilk. XXXI. S. 204.

1896. 66. Charpentier, A., La sensibilité lumineuse dans la fovea centralis. Arch. d'Opht. XVI. S. 336.

67. Fuchs, E., Über Erythropsie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLII, 4. S. 207.

68. v. Helmholtz, H., Handbuch der physiologischen Optik. 2. Aufl. Hamburg und Leipzig.

69. Henry, R. Wallace, The light perceptive power as anaid to diagnosis and prognosis in diseases of the eye. The ophth. Rev. Febr.

70. v. Kries, J., Über die funktionelle Verschiedenheit des Netzhautcentrums und der Nachbarteile. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLII, 3. S. 95.

1897. 71. v. Kries, J., Über die absolute Erregbarkeit der verschiedenen Netzhautteile im dunkeladaptierten Auge. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane. XV. S. 327.

1899. 72. Simon, R., Über die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XXI. S. 433.

1900. 73. Hummelsheim, Ed., Centrale Sehschärfe und periphere Helligkeit. Bericht über d. 29. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg.

74. Singer, H., Brucin und seine Einwirkung auf das normale Auge. v. Graefe's Arch. f. Ophth. L. S. 665.

VI. Chromatopsimetrie.

Die Prüfung des Farbensinnes.

Von

Dr. A. Brückner
in Würzburg.

Mit Fig. 165—169.

Allgemeines.

§ 113. Chromatopsimetrie nennt man die Prüfung des Gesichtssinnes mit Rücksicht darauf, inwieweit der Untersuchte im stande ist, in normaler Weise die verschiedenen Farben wahrzunehmen oder nicht.

Das Licht, welches zur Untersuchung verwendet wird, kann homogenes (sogenanntes monochromatisches) Spektrallicht sein, oder es kann ein Strahlgemisch sein, wie es beim Durchgange unzerlegten Tageslichtes oder künstlichen Lichtes durch gefärbte Glasplatten und Flüssigkeiten oder durch Reflexion an pigmentierten Flächen entsteht.

An jeder Farbenempfindung können wir den Farbenton, die Sättigung und die Helligkeit unterscheiden. Außerdem können wir sie uns zerlegt denken in eine spezifisch farbige (chromatische) und eine farblose (achromatische) Komponente.

Der Farbenton wird bestimmt durch die Qualität der farbigen Komponente und wird je nachdem als rot, gelb, blaurot, gelbgrün u. s. f. bezeichnet.

Die Sättigung ist abhängig von dem Verhältnis, in welchem die farbige und die farblose Komponente an der Zusammensetzung der Farbenempfindung Anteil haben. Überwiegt die farbige Komponente, so spricht man von gesättigten Farben, anderenfalls von mehr oder weniger ungesättigten. Eine jede Farbe kann durch jedes beliebige Glied der schwarz-weißen Empfindungsreihe als achromatischer Komponente der Farbenempfindung »verhüllt« werden, also sowohl durch Weiß, als auch durch Schwarz oder ein beliebiges Grau. Es kann also sowohl weißliche als auch schwärzliche ungesättigte Farben geben. Im Sprachgebrauche werden aber häufig nur die ersteren als ungesättigt bezeichnet.

Die Helligkeit der Farbenempfindung wird sowohl durch die chromatische, wie durch die achromatische Komponente bestimmt; sie ist größer, wenn letztere ein Grau ist, welches dem Weiß näher steht, geringer, wenn jenes mehr Schwarz enthält.

Gleichbedeutend mit dem Worte Helligkeit der Farbe ist vielfach auch der Ausdruck Intensität der Farbe gebraucht worden. Im folgenden soll aber unter Intensität nur die Energie der Lichtstrahlung verstanden werden.

Sofern eine homogene Strahlung oder ein Strahlgemisch im stande ist, die farbige Komponente einer Farbenempfindung zu fördern, spricht man von ihrer farbigen (roten, gelben u. s. f.) Valenz, sofern sie die weiße Komponente zu fördern im stande ist, von ihrer farblosen Valenz (Weißvalenz).

Jede Strahlung besitzt eine farblose Valenz, aber nicht jede eine farbige.

Einfache Farben (Grund-, Urfarben) sind: Rot, das weder ins Blauliche, noch ins Gelbliche sticht (es fehlt im Spektrum und entsteht durch Mischung von

zwei Lichtern von je einem Ende des Spektrums, gehört also zu den sogenannten Purpurtonen); ein ebensolches Grün (wie es durch Einwirkung eines homogenen Lichtes von ca. 495—500 $\mu\mu$ Wellenlange hervorgerufen wird); Gelb, welches weder rötlich noch grünlich ist (etwa einer Wellenlange von 575—580 $\mu\mu$ entsprechend); Blau (durch Licht von ca. 470 $\mu\mu$ entstehend).

Die Lage dieser einfachen Farben im Spektrum ist keine konstante, sondern hängt von mannigfaltigen objektiv (Lichtquelle) und subjektiv (chromatische Umstimmung, s. u. S. 392) bedingten Umständen ab. Je zwei dieser Urfarben können nicht gleichzeitig in einer Empfindung vorhanden sein. Es sind das einerseits Rot und Grün, andererseits Gelb und Blau. Man bezeichnet sie deshalb als Gegenfarben (Hering).

Wohl aber ist eine Verbindung zwischen zwei einfachen Farben möglich, wenn sie nicht demselben Gegenfarbenpaare angehören. Es giebt deshalb blaugrüne, blaurote, gelbgrüne und gelbrote Empfindungen. Man bezeichnet diese Farben im Gegensatz zu den einfachen Farben als zusammengesetzte oder Zwischenfarben (Übergangsfarben).

§ 114. Bei jeder Prüfung des Farbensinnes ist auf eine Reihe von Bedingungen Rücksicht zu nehmen, welche auf die Entstehung der Farbenempfindungen von Einfluss sind. In der Hauptsache sind es die folgenden:

1. Adaptation. Von allergrößter Bedeutung für das Farbensehen ist der Gesamtadaptationszustand des Auges im Sinne der Hell-Dunkeladaptation. Im helladaptierten Auge tritt die farblose Komponente der Farbenempfindung gegenüber der eigentlich farbigen zurück. Alle Farben erscheinen deshalb sehr viel lebhafter, gesättigter, als das bei Dunkeladaptation des Auges der Fall ist, denn hier tritt der achromatische Teil stärker hervor gegenüber dem chromatischen. Infolgedessen erscheinen alle Farben mehr oder weniger weißlich, wenn das Auge dunkeladaptiert ist. Es gilt das vor allem für Lichter der kurzwelligen Hälfte des Spektrums (Grün und Blau), weniger für diejenigen der langwelligen (Gelb und Rot). Im Zusammenhange damit erfahren erstere eine relative Aufhellung, letztere eine relative Verdunkelung (sogenanntes Purkinje'sches Phänomen), wenn das Auge sich für Dunkel adaptiert.

Die günstigsten Bedingungen für die Farbenwahrnehmung sind also bei guter Helladaptation gegeben.

Als Dunkeladaptation bezeichnet man denjenigen Zustand des Auges, welcher sich nach länger dauerndem Lichtabschluss — z. B. in der Nacht — entwickelt und sich im wesentlichen in erhöhter Lichtempfindlichkeit zu erkennen giebt. Unter Helladaptation wird derjenige Zustand verstanden, wie er nach längerer intensiverer diffuser Belichtung mit farblos wirkendem Lichte gegeben ist, also z. B. in der Mitte des Tages.

Der Grad jedes der beiden Adaptationszustande kann naturgemäß ein sehr verschiedener sein.

Die allgemeine Hell-Dunkeladaptation ist ihrem Grade nach abhängig von der Intensität der

2. Beleuchtung des Raumes, in welchem der Untersuchte sich befindet. Dieselbe hängt ab von der Jahreszeit, der Tageszeit und dem Grade der Himmelsbewölkung. Die intensivste Beleuchtung und damit die größtmögliche Helladaptation ist an hellen sonnigen Tagen gegeben, aber auch eine gleichmäßige helle Wolkenschicht giebt ein sehr intensives Licht, während an nebligen Wintertagen die Beleuchtung nicht intensiv genug ist, um eigentliche Helladaptation zu bewirken.

Zu berücksichtigen ist ferner, ob die Beleuchtung des Raumes etwa chromatisch umstimmend auf das Sehorgan einwirken kann, wie es z. B. durch farbigen Anstrich der Wände, grüne Bäume vor den Fenstern oder durch Petroleum-, Gas- oder elektrisches Glühlicht in hohem Maße der Fall ist. Durch die erwähnten künstlichen Lichtquellen z. B. wird das Auge mehr oder weniger für Gelb adaptiert (»ermüdet«). Resultate der Farbensinnprüfung, welche bei künstlicher Beleuchtung gewonnen worden sind, können deshalb nur mit Reserve verwertet werden.

Von der allgemeinen Umstimmung des Sehorganes zu unterscheiden ist die

3. Lokale Umstimmung (lokale Adaptation), welche durch Lichteinwirkung auf einen begrenzten Teil der Netzhaut zu stande kommt. Auch hier giebt es sowohl eine Adaptation für Hell und Dunkel, wie eine für Farben. Der Grad der lokalen Adaptation ist abhängig von der Intensität des auf die betreffende Netzhautpartie fallenden Lichtes, von der Dauer der Einwirkung desselben und von der Stärke und Dauer der Belichtung der Umgebung der betreffenden Netzhautpartie (Wechselwirkung der Netzhautstellen).

Bei der Farbensinnprüfung ist auf diesen Umstand zu achten und es ist vor Beginn der Untersuchung nach Möglichkeit für eine gleichmäßige neutrale Stimmung des Sehorganes zu sorgen, was am besten dadurch erreicht wird, dass man eine gleichmäßige graue Wand betrachten lässt. Während der Prüfung sind zur Vermeidung lokaler Umstimmung öfters Pausen einzuschalten. Auch kann man den störenden Einfluss der lokalen Adaptation einigermaßen eliminieren, wenn man den Untersuchten kleine Augenbewegungen ausführen lässt, oder besser, indem man, wenn möglich, das Testobjekt leicht hin- und herbewegt.

Ganz besonders sind die extrafovealen Netzhautpartien schnell umstimmbar (adaptationsfähig).

4. Intensität des farbig wirkenden Lichtes. Die Qualität der Farbenempfindung ist bei qualitativ derselben Zusammensetzung des farbig wirkenden Lichtes abhängig von der Intensität desselben.

Bei Steigerung der Intensität über eine gewisse Grenze hinaus werden die Farben, abgesehen von der Helligkeitszunahme, weißlicher, ungesättigter und schließlich rein weiß (ausgenommen sattes Rot und allenfalls sattes Orange).

Dabei ist außerdem noch eine Änderung des Farbentones zu konstatieren, falls es sich nicht um eine der Urfarben handelt. Diese gehen nämlich ohne wesentliche Tonänderung in Weiß über, während sämtliche Zwischenfarben bei Steigerung der Lichtintensität ihren Farbenton dahin ändern, dass die blaue bezw. gelbe Komponente das Übergewicht erhält. Ein Gelbgrün z. B. wird dabei zunächst rein gelb — natürlich mit geringerer Sättigung — und erst dann weiß.

Sinkt die Lichtintensität unter ein bestimmtes Maß, so werden alle Farben durch Schwarz bezw. Dunkelgrau verhüllt, werden also ebenfalls ungesättigter. Dabei macht sich, falls es sich um eine Zwischenfarbe handelt, ein stärkeres Hervortreten der roten bezw. grünen Komponente bemerklich, so dass z. B. in einem Gelbgrün das Gelb schließlich ganz untermerklich werden kann, und die Farbe dann den Eindruck eines schwärzlichen Urgrün macht.

5. Färbung des Grundes. Wegen des Helligkeits- und Farbenkontrastes ist es durchaus nicht gleichgültig, auf welchem Grunde das farbige Testobjekt dargeboten wird. Für gewöhnlich wird derselbe farblos zu wählen sein, und zwar wird er je nachdem weiß, schwarz oder grau sein müssen. Bei schwarzem Grunde wird infolge des simultanen und successiven Lichtkontrastes an derjenigen Netzhautstelle, auf welcher sich das farbige Objekt abbildet, Weiß induziert; ist der Grund weiß, so wird umgekehrt an dieser Stelle die Weißempfindung gehemmt und die Schwarzempfindung gefördert. Im ersten Falle wird also die Farbe weißlicher erscheinen als im zweiten, in welchem sie unter Umständen mehr oder weniger schwärzlich erscheinen wird.

6. Größe und Schärfe des Netzhautbildes. Damit ein Objekt als farbig erkannt wird, darf sein Netzhautbild bei gegebenen Bedingungen nicht unter eine gewisse Größe herabgehen. In pathologischen Fällen muss dieselbe oft sehr viel erheblicher sein, ebenso für die extrafoveale Netzhaut.

Auch die Schärfe des Netzhautbildes ist von Einfluss auf die Farbenwahrnehmung. Als Regel muss es deshalb gelten, bei der Farbensinnprüfung jeden irgend erheblicheren Grad von Refraktionsanomalie zu korrigieren.

7. Objektive Sättigung der Farben. Je größer die objektive Sättigung der zur Prüfung verwendeten Farben ist, um so leichter wird unter sonst gleichen Umständen die Farbe erkannt. Bei der Auswahl der farbigen Wollen, Papiere u. s. w., welche zur Untersuchung verwendet werden, ist darauf Rücksicht zu nehmen.

Der Reizwert oder die optische Valenz jedes farbig wirkenden Lichtes lässt sich zerlegt denken in eine weiß wirkende und in eine farbig wirkende Sondervalenz (vgl. oben S. 390). Je größer die letztere im Verhältnis zur ersteren ist, desto gesättigter erscheint, gleichen Zustand des Auges vorausgesetzt, die Farbe des betreffenden Lichtes. Unter objektiver Sättigung kann man daher das Verhältnis seiner farbigen zu seiner weißen Sondervalenz verstehen.

8. Pigmentierung. Erhebliche individuelle Unterschiede kommen hinsichtlich der Stärke der gelben oder gelbrötlichen Makulapigmentierung

des Auges vor, ebensolche in der mit dem Alter zunehmenden Gelbfärbung der Linse. Bei der Prüfung mit Lichtern der kurzwelligen Spektralhälfte (Blaugrün, Blau, Violett) machen sich diese individuellen Differenzen geltend, weil die erwähnten Strahlungen je nachdem stärker oder schwächer absorbiert werden und daher mehr oder weniger geschwächt auf die lichtpercipierende Schicht zur Einwirkung gelangen. Ein analoges Verhältnis besteht zwischen dem der gelbpigmentierten Makula entsprechenden centralen Netzhautbezirke und den extrafovealen Netzhautteilen eines und desselben Auges.

§ 115. Die Störungen des Farbensinnes, welche praktische Bedeutung besitzen, kann man in allgemeine und partielle einteilen. Erstere betreffen die Wahrnehmung aller Farben. Hierher gehört die allgemeine Schwäche des Farbensinnes und deren Grenzfall, die totale Farbenblindheit. Zu den partiellen Farbensinnstörungen gehört die Herabsetzung des Rotgrün- bezw. Gelbblausinnes und deren Grenzfälle: die Rotgrünblindheit und die außerordentlich selten vorkommende, daher praktisch unwichtige Gelbblaublindheit [1].

Diese Anomalien können sowohl angeboren wie erworben vorkommen und sich sowohl über die ganze Netzhaut eines oder beider Augen erstrecken, als auch auf einzelne Netzhautpartien beschränken (Farbenskotome) [2]. Im letzteren Falle ist ihre Untersuchung nur mit Hilfe perimetrischer Methoden möglich, welche an anderer Stelle besprochen werden. Natürlich gelten auch für diese dieselben Gesichtspunkte, wie sie hier für die Prüfung des Farbensinnes im allgemeinen angegeben worden sind.

Wir haben an dieser Stelle insbesondere die angeborenen Farbensinnstörungen zu berücksichtigen, weil diese fast immer ein typisches Verhalten zeigen, welches den erworbenen Störungen mehr oder weniger fehlt.

Man kann die Untersuchungsmethoden des Farbensinnes in qualitative und quantitative einteilen. Mit Hilfe der qualitativen Methoden soll im allgemeinen nur eine Störung des Farbensinnes überhaupt nachgewiesen werden, also sowohl die Farbenblindheit wie die Farbensinnschwäche. Außerdem aber dienen einzelne dieser Methoden dazu, genauer die Art der Störung zu bestimmen.

1) Von geringerer praktischer Wichtigkeit sind auch diejenigen Farbensysteme, welche angeboren die sogenannten anomalen Farbentüchtigen (Rayleigh, Donders, Hering, v. Kries) besitzen. Wissenschaftlich sind sie allerdings von großem Interesse. Sie sollen hier nur erwähnt werden, sofern sie Anlass geben können, die damit behafteten Personen für farbenschwach oder partiell farbenblind zu halten.

2) Einseitige angeborene Farbensinnstörungen, insbesondere einseitige partielle Farbenblindheit, sind bisher nur außerordentlich selten beobachtet worden (Becker, v. Hippel, Holmgren). Jeder Fall sollte deshalb, wenn möglich, einer genauen wissenschaftlichen Prüfung unterzogen werden. Dasselbe gilt von den ebenfalls sehr seltenen angeborenen Farbenskotomen.

Die quantitativen Methoden sollen im Prinzip in Fällen von Farbensinnschwäche noch eine genauere numerische Bestimmung, soweit dieser Ausdruck hier überhaupt anwendbar ist, des Grades der Herabsetzung des Farbensinnes ermöglichen.

I. Qualitative Untersuchungsmethoden.

§ 116. Bei denjenigen erworbenen Störungen des Farbensinnes, welche nicht auf einer Läsion der centralen Teile der Sehsubstanz beruhen, wird der Patient die Erinnerungsbilder der Farben noch gegenwärtig haben. Infolgedessen wird er auch eine vorgelegte Farbenprobe mit demjenigen Namen bezeichnen, welcher thatsächlich seiner Empfindung entspricht, die ihm durch den optischen Reiz verursacht wird. Wenn ein Fall von erworbener Rotgrünblindheit vorliegt, so wird der Patient z. B. ein für den Normalen gelbrotes Prüfungsobjekt als gelb bezeichnen, also so, wie seine Empfindung wirklich beschaffen ist. Der Untersucher wird demnach hier, analog wie bei der am Normalen vorgenommenen perimetrischen Untersuchung des Farbensinnes, im stande sein, aus den Benennungen, welche der Untersuchte den Farben giebt, einen Schluss auf die Art der Störung des Farbensinnes zu ziehen.

Handelt es sich aber um eine angeborene Störung des Farbensinnes, z. B. um angeborene Rotgrünblindheit, so ist ein Rückschluss auf die Farbenempfindungen des Untersuchten aus den Benennungen, welche von diesem den vorgelegten Proben gegeben werden, ohne weiteres nicht zulässig. Wenn der Rotgrünblinde auch ein für den Normalen rotes Pigment als rot bezeichnet, so sind doch die Empfindungsinhalte beider Individuen gänzlich verschieden, denn der Farbenblinde empfindet, wie wir annehmen dürfen, thatsächlich nur ein Gelb von bestimmter Sättigung. Es genügt deshalb in Fällen angeborener Störungen keineswegs, allein auf Grund falscher oder richtiger Farbennamen darüber zu entscheiden, welche Farbensinnstörung vorliegt, und sämtliche Methoden, welche sich ausschließlich darauf stützen, sind als prinzipiell unrichtig zu verwerfen.

Außerdem werden vielfach die Farbennamen auch nur falsch gebraucht, weil die Intelligenz oder Bildung des Untersuchten eine ungenügende ist, während die Empfindungsinhalte dieselben sind wie beim Normalen.

Aus den angeführten Gründen ist auch die sogenannte Farbenstiftprobe (Adler 284, 314, Görtz 316) prinzipiell verfehlt, welche darauf beruht, dass man den Untersuchten mit farbigen Kreidestiften, deren Mantel dieselbe Färbung zeigt wie der eingeschlossene Stift, die Namen der Farben jedes einzelnen Stiftes mit demselben aufschreiben lässt. Auch hierin liegt ja nichts anderes wie ein schriftliches Benennenlassen der Farben. Der Vorteil, dass man bei eventuellen Fehlern den Beweis für etwa vorhandene Farbenblindheit ad oculos demonstrierbar in Händen habe, ist also illusorisch.

Ebenso ist die Untersuchung mit Hilfe besonderer Vorrichtungen (Laternen von de Keersmaecker u. a. 162, 170, 288, 289, 341), welche die bei der Eisenbahn und Marine gebräuchlichen farbigen Signale und Lichter nachahmen sollen, unzulänglich, wenn der Untersuchte das vorgezeigte farbige Licht mit den technischen Ausdrücken, wie »Halt«, »Bahnfrei« u. s. w. benennen soll. Damit ist nämlich gar nichts für seine Farbentüchtigkeit oder -untüchtigkeit bewiesen, denn auch der Farbenblinde ist fast immer in der Lage, die roten und grünen Signallichter voneinander zu unterscheiden, weil sie ihm in verschiedener Sättigung und Helligkeit erscheinen. Er ist darum aber doch zum Eisenbahn- oder Marinedienst nicht tauglich, weil er sie auch einmal verwechseln kann.

Gleichwohl ist häufig aus den Benennungen der Farben von seiten Farbenblinder ein Anhaltspunkt für die Untersuchung zu gewinnen, und deshalb eine Kenntnis davon, wie beschaffen die Farbenempfindungen der mit angeborenen Farbensinnstörungen Behafteten sind, für den Untersucher sehr wünschenswert.

Als wesentlichstes Ergebnis der zahlreichen Untersuchungen über das Farbensehen der Farbenblinden und die von ihnen begangenen Verwechselungen kann etwa folgendes gelten:

Dem Totalfarbenblinden erscheint höchst wahrscheinlich das ganze Spektrum als ein farbloses (graues) Band von stellenweise verschiedener Helligkeit. Die hellste Stelle im Tageslichtspektrum liegt etwa in der Gegend der Fraunhofer'schen Linie *E*. Die Helligkeit nimmt dann schnell nach dem langwelligen (roten) Ende des Spektrums ab, langsamer nach dem kurzwelligen (violetten) Ende. Aus je zwei homogenen Lichtern kann durch entsprechende Intensitätsänderung des einen oder anderen Lichtes für den Totalfarbenblinden eine Gleichung hergestellt werden. Am langwelligen (roten) Ende ist der Totalfarbenblinde nicht im stande, das Spektrum so weit zu sehen wie der Normale.

Für den Rotgrünblinden besitzt das Spektrum mutmaßlich nur zwei Farben: Gelb und Blau[1]. Ersteres nimmt die langwellige, letzteres die kurzwellige Hälfte des Spektrums ein. Dazwischen liegt eine schmale Zone, welche farblos (grau oder weiß) erscheint und etwa in der Gegend der Wellenlänge 500 $\mu\mu$ — 490 $\mu\mu$ gelegen ist. Sie wird als neutrale Stelle (*N*) bezeichnet. Ihre Lage ist keine konstante. Sowohl nach der einen wie nach der anderen Seite von der neutralen Stelle im Spektrum wird das Gelb bezw. Blau gesättigter (weniger weißlich) bis zu einem Maximum, um dann gegen das Ende des Spektrums wieder ungesättigter (weißlicher) zu werden[2].

1) Dies nehmen wohl allgemein jetzt auch die Anhänger der Young-Helmholtz'schen Dreifarbentheorie an, obwohl Helmholtz selbst ursprünglich glaubte, dass der Rotblinde (vgl. S. 397) Grün und Violett mit den dazwischenliegenden Farben Blaugrün, Blau, der Grünblinde Rot und Violett mit den zwischenliegenden Purpurtönen wahrzunehmen im stande sei. Später aber hat auch Helmholtz diese Ansicht fallen lassen.

2) Bei der Diagnose der Rotgrünblindheit kann auch der Umstand mit berücksichtigt werden, dass Frauen nur sehr selten damit behaftet sind, während bekanntlich ca. 3—4% aller Männer rotgrünblind sind.

Dem Rotgrünblinden kann bei passendem Intensitätsverhältnis aus je zwei beliebigen Lichtern des Spektrums stets ein Mischlicht hergestellt werden, welches einem dritten, zwischen den beiden ersten gelegenen, Lichte ganz gleich erscheint, was für den Farbentüchtigen bekanntlich durchaus nicht immer möglich ist. Daher ist es angängig, für den Rotgrünblinden aus einem gelblichroten und einem violetten bezw. blauen Lichte ein Licht zu mischen, welches für ihn genau so aussieht, wie dasjenige Licht, welches seiner neutralen Stelle entspricht, und das er demgemäß mit dieser und mit Grau oder Weiß verwechselt.

Man kann unter den Rotgrünblinden zwei Typen unterscheiden, welche entsprechend den verschiedenen theoretischen Ansichten über das Farbensehen verschieden benannt worden sind. Die Angehörigen des ersten Typus sind als Rotblinde (Helmholtz), Rotgrünblinde mit verkürztem Spektrum und relativer Blausichtigkeit (Hering), oder als Protanopen (v. Kries), diejenigen des zweiten Typus als Grünblinde (Helmholtz), Rotgrünblinde mit unverkürztem Spektrum und relativer Gelbsichtigkeit (Hering), oder als Deuteranopen (v. Kries) bezeichnet worden. Im folgenden sollen stets nur die Ausdrücke erster und zweiter Typus bezw. erste und zweite Klasse gebraucht werden.

Ein Vertreter des ersten Typus ist nicht im stande, das langwellige Ende des Spektrums so weit wahrzunehmen, wie einer des zweiten Typus oder der Farbentüchtige. Das Spektrum ist also für ihn am roten Ende verkürzt und alle langwelligen Lichter bis gegen das Orange hin erscheinen ihm viel dunkler als dem Angehörigen des zweiten Typus und dem Normalen. Außerdem liegt in der Regel die neutrale Stelle für den ersten Typus innerhalb des oben erwähnten Spielraumes etwas mehr nach dem kurzwelligen Ende zu als für den zweiten Typus. Vertreter der ersten Klasse der Rotgrünblindheit verwechseln ein mehr ins Gelbliche gehendes Rot mit Weiß (oder Grau), wie diejenigen der zweiten Klasse, welche ein für den Normalen mehr bläuliches Rot als gleich mit Weiß oder Grau erklären.

Der Gelbblaublinde (Hering), Blau- oder Violettblinde (Helmholtz) oder Tritanop (v. Kries), sieht vermutlich im Spektrum nur Rot und Grün[1]. Der langwellige Teil erscheint ihm als Rot von abnehmender Sättigung, bis in der Gegend des für den Normalen reinen Gelb (ca. 575 $\mu\mu$ entsprechend) das Spektrum für ihn farblos wird. Dann gewinnt es für ihn grüne Farbe von zunehmender und dann wieder abnehmender Sättigung bis zu dem (für den Normalen) reinen Blau (ca. 470 $\mu\mu$ entsprechend). Darüber hinaus sieht er wieder ein wenig gesättigtes Rot. Der Gelbblaublinde besitzt also zwei neutrale (farblose) Stellen im Spektrum, welche bei den bisher beobachteten wenigen Fällen, die stets mit einer gleichzeitigen Herabsetzung des Rotgrünsinnes verbunden waren, eine etwas breitere Zone einnahmen. Denn die für den Gelbblaublinden geringe farbige Valenz der unmittelbar an die eigentlich neutrale Stelle angrenzenden Teile des Spektrums läßt auch diese farblos erscheinen. Außerdem hat sich in einigen Fällen noch eine Verkürzung des Spektrums am kurzwelligen (violetten) Ende gezeigt (Stilling, Hering, Vintschgau).

Dem Farbensinnschwachen wird — um das der Vollständigkeit halber zu erwähnen — das ganze Spektrum zwar in denselben Farbentönen erscheinen wie dem Normalen, aber er wird alle Farben in einer sehr viel weißlicheren

1 Nach der ersten Ansicht von Helmholtz sollte der Violettblinde Rot, Grün und Gelb, das im Sinne der Dreifarbenlehre als Zwischenfarbe zu betrachten ist, wahrnehmen.

(ungesättigteren) Nuance sehen. Infolgedessen kann auch am langwelligen Spektralende eine Verkürzung für ihn vorhanden sein, weil die langwelligen Lichter nur eine sehr geringe Weißvalenz besitzen und ihre Sichtbarkeit für den Normalen fast ausschließlich ihrer farbigen Valenz verdanken.

Anamnese. Wenn wir für die Diagnose angeborener Farbensinnstörungen den Aussagen des Untersuchten, soweit sie die Farbenbenennungen betreffen, nur einen beschränkten Wert beimessen können, so gilt das keineswegs von den anamnestischen Angaben. Denn oft lässt sich aus diesen schon mit ziemlicher Sicherheit ein Schluss auf angeborene Farbensinnstörung ziehen. Die Rotgrünblinden geben z. B. sehr häufig an, dass sie nur mit sehr wenig Erfolg Erdbeeren gesucht hätten, dass sie aus größerer Entfernung die roten Blüten des Granatbaumes nicht von den umgebenden Laubblättern zu unterscheiden vermöchten oder ähnliches.

§ 117. Alle prinzipiell einwandfreien Methoden der qualitativen Farbensinnprüfung gehen darauf aus, sich von den Benennungen, welche der Untersuchte den vorgelegten Farbenproben giebt, nach Möglichkeit frei zu machen und den Nachweis einer Störung des Farbensinnes lediglich auf Grund von Verwechselungen zu liefern, welche der Untersuchte zwischen Farben begeht, die für den Normalen sehr verschieden sind.

Zur Beurteilung dessen, was mit einer gegebenen Methode zu erreichen ist, sei folgendes erwähnt:

Will man das völlige Fehlen einzelner oder aller farbigen Empfindungsqualitäten mit Bestimmtheit nachweisen, also partielle oder totale Farbenblindheit, so ist es erforderlich, die günstigsten Bedingungen für das Farbensehen zu schaffen. Vor allem müssen die vorgelegten Farbenproben von möglichst großer objektiver Sättigung sein und sie dürfen nicht zu geringe Ausdehnung besitzen, falls es sich nicht um den Nachweis eines Farbenskotoms handelt. Sehr wesentlich ist es, dass für helle Beleuchtung des Beobachtungsraumes und, im Zusammenhange damit, für gute Helladaptation gesorgt ist. Auch müssen die farbigen Proben (Felder) möglichst homogen, d. h. ohne erkennbare Ungleichartigkeiten innerhalb der farbigen Fläche sein und, wenn es sich um die Vergleichung zweier Farbenfelder handelt, müssen dieselben unmittelbar aneinander grenzen.

Für praktische Zwecke wird es allerdings nicht immer erforderlich sein, alle angegebenen Bedingungen streng zu erfüllen. Im Gegenteil wird man zur Beurteilung davon, ob der Farbensinn des Untersuchten für gewisse Berufsarten (Eisenbahn, Marine) ausreichend sei, bei der Prüfung oft absichtlich ziemlich ungünstige Bedingungen für das Farbensehen herbeiführen. Denn wenn der Betreffende die Proben dann nicht besteht, muss sein Farbensinn für den vorliegenden Zweck als unzulänglich gelten.

Wenn es sich darum handelt, aus einer gegebenen Zahl zu Untersuchender alle mit irgend einer Farbensinnstörung Behafteten mit möglichster Sicherheit herauszufinden, so darf man sich niemals damit begnügen, die Prüfung auf eine Methode zu beschränken, sondern es sind stets möglichst viele Proben zu verwenden. Denn bei der Farbensinnprüfung muss als Grundsatz gelten, dass ein fehlerloses Bestehen der Prüfung noch nicht mit Bestimmtheit eine Farbensinnstörung bei dem Untersuchten ausschließt. Es kann nämlich vorkommen, dass auch notorisch Farbenblinde, welche sich im Erkennen feiner Nuancenunterschiede sehr geübt haben, alle für gewöhnlich gebrauchten Proben bestehen.

Wenn es angängig ist, sollte stets die Untersuchung für jedes Auge gesondert vorgenommen werden.

§ 118. Bei den Methoden der qualitativen Farbensinnprüfung kommt es im Prinzip darauf an, festzustellen, ob der Untersuchte zwei oder mehrere Farbenproben, welche für den Farbentüchtigen durchaus verschieden sind, als gleich oder wenigstens sehr ähnlich bezeichnet. Auf die Benennungen, welche den Proben von dem Untersuchten gegeben werden, kommt es dabei gar nicht an.

Sieht man von den Methoden ab, welche nur wissenschaftlich verwendbar sind (wie z. B. kompliziertere Untersuchungsmethoden mit Hilfe des Spektroskopes), so können die qualitativen Methoden in drei Gruppen geteilt werden.

Bei denjenigen der ersten Gruppe, den Wahlproben, ist der Untersuchte angewiesen, aus einer Anzahl von Farbenproben diejenigen herauszusuchen, welche ihm einer vorgelegten Probe gleich oder, da das nur sehr selten der Fall sein wird, besonders ähnlich zu sein scheinen. Bei den Proben der zweiten Gruppe legt man dem Untersuchten zwei Farben vor, von denen man erfahrungsgemäß weiß, dass eine bestimmte Gruppe von Farbenuntüchtigen sie zu verwechseln pflegt. Geschieht das auch von seiten des Untersuchten, so ist bei diesem die Diagnose auf die betreffende Störung des Farbensinnes zu stellen. Diese Proben werden als pseudoisochromatische bezeichnet. Das Ziel der Proben der dritten Gruppe besteht darin, für jeden einzelnen Untersuchten eine vollkommen gültige Gleichung zwischen zwei Farben herzustellen, welche dem Normalen gänzlich verschieden sind. Bei dieser Art der Prüfung kann den individuellen Verschiedenheiten, welche die Farbenuntüchtigen einer bestimmten Gruppe ebenso zeigen wie die Normalen, in vollem Maße Rechnung getragen werden. Wir können diese Proben als einstellbare pseudoisochromatische Gleichungen bezeichnen.

Im allgemeinen kann man sagen, dass die Methoden der beiden ersten Gruppen sich zur Vorprüfung und mit einzelnen Ausnahmen auch zu

Massenuntersuchungen eignen, während die einstellbaren pseudoisochromatischen Gleichungen der genaueren Präcisierung und Erhärtung der Diagnose der mit den ersteren Proben festgestellten Farbensinnstörung dienen.

1. Wahlproben.

§ 119. Das Prinzip der Wahlproben besteht, wie gesagt, darin, dass dem Untersuchten die Aufgabe gestellt wird, aus einer großen Zahl verschiedenfarbiger Proben diejenigen herauszusuchen, welche für ihn am meisten Ähnlichkeit mit einer vorgelegten Probe besitzen. Die Benennung der Farben spielt dabei gar keine Rolle und es ist auch zu vermeiden, dem Untersuchten den Namen der vorgelegten Farbe zu sagen.

Während der Farbentüchtige nur ganz ausnahmsweise Fehler begeht, wenn er die gestellte Aufgabe richtig verstanden hat, wird der Farbenuntüchtige dabei charakteristische Fehler machen, indem er auch Farben aussucht, welche für den Normalen durchaus verschieden von der vorgelegten sind. Ein Vorteil dieser Art von Prüfung ist, dass der Untersuchte gezwungen ist, selbst zu handeln und sich bei der Untersuchung nicht passiv verhält.

Die Methode ist zuerst von Seebeck (3) mit Benutzung farbiger Papiere verwendet worden. Er hatte auch schon vorgeschlagen, farbige Stickwollen zur Prüfung zu benutzen, weil diese keinen Glanz besäßen und überall leicht beschafft werden könnten. Allgemeinere Verbreitung mit Verwendung farbiger Wollproben aber hat diese Methode erst nach Holmgren's Untersuchungen gefunden (33, 35, 60). Statt der Wollen sind dann später unter anderem farbige Pulver (Cohn 79, Mauthner 102) empfohlen worden. Aber alle diese Modifikationen leisten im besten Falle dasselbe wie die Seebeck-Holmgren'sche Wollprobe und können dieselbe nicht voll ersetzen. Auch sind die verschiedenfarbigen Proben nur schwer in den erforderlichen Abstufungen der Helligkeit, Sättigung und des Farbentones zu beschaffen. Bei den in Glasfläschchen eingeschlossenen Pulvern wirkt zudem der Glanz des Glases störend.

Bei der Anstellung der Wollprobe muss man sich eines möglichst reichhaltigen Sortiments bedienen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass es eine große Zahl von Farben aufweist, welche der Farbenuntüchtige erfahrungsgemäß verwechselt (Grau, Grün, Braun, Rosa, Blau, Violett in den verschiedensten Abstufungen der Helligkeit und Sättigung). Es ist deshalb demjenigen Untersucher, welcher nicht eine eingehende Kenntnis auf diesem Gebiete besitzt, anzuraten, sich ein fertiges Wollsortiment anzuschaffen[1].

Die einzelnen Wollproben müssen kleine Wollbündel darstellen, nicht aus nur einzelnen Wollfäden bestehen, weil dadurch die Farbenwahrnehmung unnütz erschwert werden würde.

---

[1] Ein besonders reichhaltiges Sortiment, nach Holmgren's eigenen Angaben zusammengestellt, versendet L. Oldberg's Nachfolger A. Lindberg, Torsaker in Schweden.

Das Untersuchungsverfahren ist, mit Holmgren's eigenen Angaben im wesentlichen übereinstimmend, zweckmäßig folgendes:

I. Die Grünprobe. Der Untersucher wählt aus den auf einem Tische ausgebreiteten Wollen, welche gut beleuchtet sein müssen, ein hellgrünes, wenig gesättigtes Gebind aus, dessen Färbung weder ins Gelbe noch ins Blaue spielt, und fordert den Untersuchten auf, alle Wollen aus dem vor ihm liegenden Haufen herauszusuchen, welche ihm mit der vorgelegten Probe besonders ähnlich zu sein scheinen. Es ist nicht empfehlenswert, die Aufgabe zu stellen, es sollten diejenigen Proben herausgesucht werden, welche dieselbe Farbe besäßen wie die vorgelegte, denn insbesondere der Rotgrünblinde des zweiten Typus würde dann häufig nur eine sehr beschränkte, bezw. gar keine Auswahl treffen, weil er die verschiedenen Schattierungen desselben Farbentones für verschiedene Farben halten kann.

Die Probe soll eigentlich so lange fortgesetzt werden, bis der Untersuchte alle Wollen herausgesucht hat, welche für ihn der vorgelegten Probe sehr ähnlich sind. In der Regel aber wird der Farbenuntüchtige sich sehr bald dadurch verraten, dass er auch nicht grün gefärbte Wollen auswählt. Geschieht das nur infolge eines Missverständnisses von seiten des Geprüften, so wird sich das leicht feststellen lassen, wobei man sich auch die einzelnen Farben benennen lassen kann.

Vorzugsweise werden von dem Farbenuntüchtigen als Verwechselungsfarben graue, rosafarbige, graurote, auch schwach gelbliche und schwach bläuliche Proben ausgesucht.

Werden dieselben oder ähnliche Fehler auch bei Wiederholung der Prüfung begangen, so muss der Untersuchte mit großer Wahrscheinlichkeit als farbenuntüchtig angesehen werden. Er kann aber sowohl farbenblind, wie auch nur farbenschwach sein. Letzteres ist unwahrscheinlich, wenn er auch falsche sattfarbige Proben ausgesucht hat. Jedenfalls aber muss er noch genauer geprüft werden. Zunächst mit der

II. Purpurprobe. Bei dieser wird dem Untersuchten ein nicht zu sattfarbiges Purpur, das weder bläulich, noch gelblich sein soll (also eine rein rote Wollprobe), vorgelegt und im übrigen genau wie bei I. verfahren. Werden auch hier andersfarbige Wollbündel ausgewählt, so ist eine Farbensinnstörung so gut wie sicher.

Natürlich können, da es für den Farbenuntüchtigen unzählige Verwechselungspaare giebt, auch andersfarbige Wollen dem zu Prüfenden vorgelegt werden, wobei das Verfahren genau das gleiche bleibt. Man kann dann aus den begangenen Fehlern mit ziemlicher Sicherheit die genauere Diagnose stellen. Kommen z. B. nur bei ungesättigten Farben Verwechselungen vor, so kann das auf Farbensinnschwäche beruhen. Wird zu einem satten Blau Violett hinzugelegt, so ist Rotgrünblindheit höchst wahrscheinlich

(obwohl gerade diese Verwechselung auch bei »Farbendummen« vorkommen kann).

Zu Purpur wählt der Rotgrünblinde der ersten Klasse mehr dunklere, violette Proben aus, der des zweiten Typus mehr hellere, weniger satte Nuancen. Zu einem lebhaften Feuerrot werden vom ersten Typus mehr dunkelgrüne und dunkelbraune Wollen gelegt, vom zweiten Typus dagegen hellgrüne und hellbraune, da sowohl das Purpur wie das Feuerrot dem ersten Typus dunkler als dem zweiten erscheint. Wird zu einem ausgesprochenen Gelbrot ein ebensolches Blaurot ausgewählt, so kann Blaugelbblindheit vorliegen; desgleichen, wenn zu ausgesprochenem Gelbgrün ein Blaugrün gelegt wird.

Sehr häufig ist es der Fall, dass der Untersuchte nach einem falschen Wollbündel greift, dasselbe aber nach genauerer Prüfung wieder bei Seite legt. Das genügt bereits, um die Diagnose einer Farbensinnstörung zu machen. Sind es sattfarbige Proben, so ist der Verdacht auf Farbenblindheit gerechtfertigt, bei ungesättigten Farben braucht es sich aber auch nur um Farbensinnschwäche zu handeln.

Bei sehr peinlichen Farbenblinden, welche durchaus keine Fehler begehen wollen, kann diese Art des Vorgehens oft die einzige Möglichkeit bieten, um mit der Wollprobe ein Resultat zu erzielen, weil als wirklich ähnlich mit der vorgelegten Probe unter Umständen keine einzige andere Probe bezeichnet wird.

Wählt der Untersuchte die Wollproben sehr langsam aus — was noch durchaus nicht auf einer Farbensinnstörung zu beruhen braucht —, so kann der Arzt ihm dadurch behilflich sein, dass er von den Proben eine oder die andere gleichfarbige Wolle in die Hand nimmt und ihn fragt, ob er sie als ähnlich anerkennt. Darauf kann man ebenso auch eine Verwechselungsfarbe auswählen, welche dann entweder für ähnlich erklärt wird oder nicht. Jedenfalls aber muss der Untersuchte zum Beweise einer Farbensinnstörung auch selbst eine falsche Probe auswählen.

Die Wollproben besitzen den Übelstand, dass sie namentlich bei Massenuntersuchungen ziemlich schnell schmutzig werden und dann ihre eigentliche Färbung einbüßen. Es ist daher unter Umständen geboten, häufig ein neues Sortiment in Gebrauch zu nehmen.

Diese Methode allein genügt niemals zur vollkommen sicheren Erkennung aller Farbenuntüchtigen. Es ist daher stets erforderlich, die Prüfung noch mit Hilfe anderer Methoden vorzunehmen, wodurch auch eine bestimmtere Diagnose der Farbensinnstörung ermöglicht wird, als es mit der Wollprobe der Fall sein kann.

Da die Wollprobe bei sorgfältiger Ausführung doch ziemlich viel Zeit erfordert, ist man bestrebt gewesen, sie zu vereinfachen. So hat z. B. Holmgren selbst empfohlen, bei der oben unter 1. besprochenen Grünprobe

sämtliche grünen Wollen außer der vorgelegten Probe aus dem Wollhaufen zu entfernen und nur die Verwechselungsfarben darin zu lassen. Alle derartigen Vereinfachungen aber setzen den Wert der Methode in hohem Maße herab und sind deshalb zu verwerfen.

Auch die abgekürzte Methode, welche von THOMSON (198, 304) angegeben, in Amerika vielfach Verwendung findet, muss als unzulänglich bezeichnet werden.

An einem flachen Stabe sind 40 Wollstränge von verschiedener Farbe aufgehängt. Jeder Strang ist numeriert, und zwar tragen die grünen, rosafarbigen und roten Wollen ungerade Zahlen, während die Verwechselungsfarben mit den geraden Zahlen versehen sind. Infolgedessen ist eine Einübung auf die Prüfung, welche im übrigen ähnlich wie die ursprüngliche HOLMGREN'sche Probe angestellt wird, sehr leicht möglich. Auch ist die Zahl der Wollproben eine zu kleine.

Eine etwas modifizierte Form der Wahlprüfung ist von COHN (42) und MAGNUS (63) angegeben worden. Dieselbe besteht darin, dass man im Spektroskope dem Untersuchten nur eine Farbe zeigt und ihn dann aus den HOLMGREN'schen Wollproben sämtliche Wollbündel aussuchen lässt, welche ihm von gleicher Färbung zu sein scheinen. Diese Art der Prüfung bietet also im Prinzip nichts Neues und kann besten Falles nicht mehr als die ursprüngliche Wollprobe leisten. Es haftet ihr aber der große Übelstand an, dass der Untersuchte bei genauer Prüfung immer wieder in das Spektroskop blicken muss, um sich die vorgelegte Farbe ins Gedächtnis zurückzurufen, er also nicht in der Lage ist, dieselbe mit der etwa ausgesuchten Probe direkt vergleichen zu können, was ja schon durch die große Verschiedenheit, welche zwischen dem spektralen Farbenfeld und einem Wollbündel trotz gleichen Farbentones besteht, erschwert wird.

Das eben Gesagte gilt in analoger Weise auch von dem KNIES'schen Apparate (324), dem sogenannten »Chromoskop«, bei welchem ebenfalls eine Art der Wahlprüfung zur Verwendung kommt. Dem Untersuchten ist hier die Aufgabe gestellt, in Wollproben diejenigen Farben nachzulegen, welche er bei Betrachtung eines weißen Papierstreifens durch ein Flintglasprisma von 60° wahrnimmt.

2. Pseudoisochromatische Proben.

§ 120. Das Wesen der sogenannten pseudoisochromatischen Proben besteht darin, dass dem zu Prüfenden zwei für den Normalen verschiedenfarbige Objekte oder Felder gezeigt werden, welche erfahrungsgemäß von gewissen Arten von Farbenuntüchtigen verwechselt werden. Diese sind daher nicht im stande, einen Unterschied zwischen beiden Farben zu empfinden.

Bei den erheblichen individuellen Verschiedenheiten, welche die Farbenuntüchtigen eines und desselben Typus hinsichtlich ihrer Farbensysteme in derselben Weise wie die Normalen zeigen, ist es aber ohne weiteres verständlich, dass ein gegebenes pseudoisochromatisches Farbenpaar, welches für ein Individuum, das einem bestimmten Typus von Farbensinnanomalie angehört, eine genaue Farbengleichung darstellt, für ein anderes Individuum desselben Typus nicht mehr ganz zutreffend zu sein braucht. Dadurch wird dieses dann in den Stand gesetzt sein, eine Verschiedenheit zwischen beiden Farben zu konstatieren, und die betreffende Person würde infolgedessen ohne weitere Untersuchung für normal erklärt werden. Es ist also nicht möglich, zwei farbige Felder herzustellen, welche allen Farbenuntüchtigen eines und desselben Typus ganz gleich erscheinen. Man verlangt deshalb auch fast immer bei den (stabilen) pseudoisochromatischen Proben nicht allein eine Anerkennung oder Verwerfung einer Farbengleichung von seiten des Untersuchten, sondern man stellt diesem dabei noch besondere Aufgaben, welche bei den verschiedenen Methoden verschiedenartig sind. Aber selbst dann sind aus den angeführten Gründen diese Methoden oft nicht zureichend, um die Entscheidung zu treffen, ob eine Farbensinnstörung vorliegt oder nicht. Es kommt nämlich auch vor, dass Individuen mit normalem Farbensinn auf große Schwierigkeiten bei manchen dieser Proben stoßen.

Stilling's Tafeln. Der erste, welcher die Pseudoisochromasie praktisch verwendet hat, war Stilling (70, 71), dessen Tafeln viel gebraucht werden und zur Vorprüfung gut zu benutzen sind.

Auf den Tafeln sind in quadratischem Felde auf weißem Grunde Tüpfel von verschiedener Form nahe bei einander verteilt, welche zum größten Teil denselben Farbenton, aber verschiedene Helligkeit und Sättigung besitzen. Zwischen ihnen befinden sich Tüpfel aus der Verwechselungsfarbe, welche in ihrer Anordnung eine oder mehrere arabische Ziffern oder Buchstaben (in den älteren Auflagen) zusammensetzen. Es kommt nun darauf an, ob der Untersuchte diese zu lesen vermag oder nicht.

Werden alle Tafeln ohne weiteres richtig entziffert, so ist eine Farbensinnstörung sehr unwahrscheinlich, während die Unmöglichkeit, eine oder mehrere derselben zu entziffern, auch beim Normalen vorkommen kann. Insbesondere die sogenannten anomalen Farbentüchtigen sind oft nicht in der Lage, alle Tafeln lesen zu können. Die Angaben Stilling's, dass die Unmöglichkeit, eine oder die andere Tafel zu entziffern, auf eine bestimmte Form der Farbensinnanomalie zu beziehen sei, sind deshalb nicht ohne weiteres verwertbar[1]).

1) So las z. B. ein Rotgrünblinder der ersten Klasse prompt die erste Tafel der letzten zehnten Ausgabe (346), welche gerade zur Diagnose dieses Typus verwendet werden soll, während er alle anderen Tafeln, mit Ausnahme der zur Diagnose der Gelbblaublindheit bestimmten, nicht zu entziffern vermochte.

Es ist empfehlenswert, dem Untersuchten die Tafeln nicht in die Hand zu geben, sondern sie ihm in einiger Entfernung (ca. 1—2 m) vorzuhalten. Dabei ist sorgfältig darauf zu achten, dass die Tafeln nicht etwa von dem Untersuchten halb von der Seite gesehen werden, weil in der letzten (zehnten) Ausgabe die in der Verwechselungsfarbe gedruckten Tüpfel, welche die Zahlen zusammensetzen, bei schief auffallendem Lichte einen deutlichen Glanz zeigen, wodurch die Entzifferung auch für den Farbenuntüchtigen ermöglicht werden kann[1]).

Man kann die Stilling'schen Tafeln auch zu einer Art Wahlprobe verwenden, indem man den Untersuchten anweist, die Tüpfel von einer und derselben Farbe mit dem Finger zu bezeichnen. Man zeigt dann mit Hilfe eines aufgelegten Diaphragma nur einen kleinen Teil eines der quadratischen Felder.

Da es außerordentlich schwer ist, beim Farbendruck stets die richtige Nuance zu treffen, wie es bei den Stilling'schen Tafeln erforderlich ist, hat Cohn (41) aus Stickwolle auf einfarbigem Grunde Buchstaben in der Verwechselungsfarbe sticken lassen. Da diese Proben aber, soviel bekannt, nicht vervielfältigt worden sind, besitzen sie praktisch keine Bedeutung.

Die Donders'sche Modifikation (90) ist nicht sehr zweckmäßig. Sie besteht darin, dass um kleine Holzleistchen Wolle von bestimmter Farbe gewickelt ist, zwischendurch aber einzelne Wollfäden in der Verwechselungsfarbe eingeschaltet sind, die der Untersuchte dann herauszufinden hat. Wegen der geringen Flächenausdehnung der eingeschalteten Fäden aber ist ihre Sichtbarkeit außerordentlich erschwert, und deshalb ist die Methode nur mit Vorbehalt zu benutzen.

Von Reuss sind ähnliche Proben empfohlen worden (240).

Nagel's Tafeln. Zu den (stabilen) pseudoisochromatischen Proben gehören auch die zwölf Tafeln von W. Nagel (325), welche auf weißem Grunde je einen Ring zeigen, der aus kleinen farbigen Scheiben zusammengesetzt ist. Die Ringe von drei Tafeln sind einfarbig (grau, grün und purpur) und die Scheiben sind nur ihrer Sättigung und Helligkeit nach verschieden. Der Farbenblinde wird sie aber oft für verschiedenfarbig erklären, weil er Differenzen in der Sättigung und Helligkeit für Verschiedenheiten in der Farbe hält. Auf den übrigen Tafeln dagegen finden sich verschiedenfarbige Scheibchen, zum Teil in Verwechselungsfarben für den Farbenuntüchtigen. Dieser glaubt dann umgekehrt oft, hier nur Verschiedenheiten der Helligkeit und Sättigung zu sehen, aber keine Farbenunterschiede.

Man kann diese Tafeln nach Nagel's Angaben in doppelter Weise verwenden. Zunächst hält man jede Tafel einzeln in 1—1,5 m Abstand dem

1) Bei früheren Ausgaben, z. B. derjenigen von 1883 (216), war dieser Übelstand, welchen auch die allererste Ausgabe (70, 71) gezeigt hatte, vermieden.

Untersuchten vor und lässt ihn angeben, ob sich rote Scheiben, oder bei einer zweiten Probe, ob sich grüne Scheiben auf der Tafel befinden[1]. Macht der Untersuchte fehlerhafte Angaben, so ist der Verdacht auf eine Farbensinnstörung (insbesondere Rotgrünblindheit, für welche die Tafeln in erster Linie eingerichtet sind) gerechtfertigt.

Ebenso muss eine solche als wahrscheinlich gelten, wenn bei einer Art Wahlprüfung, zu welcher die Tafeln ebenfalls benutzt werden können, Fehler gemacht werden. Man breitet zur Untersuchung alle Tafeln auf einem Tische aus, wobei sämtliche Ringe sichtbar sein müssen, und fordert dann den Untersuchten auf, diejenigen Tafeln herauszusuchen, deren Ringe nur aus Scheibchen von einer und derselben Farbe bestehen. Dabei macht man darauf aufmerksam, dass die einzelnen Scheibchen wohl von verschiedener Helligkeit sein dürfen. Der Farbentüchtige sucht die drei richtigen Tafeln sofort heraus, während der Farbenblinde oder Farbensinnschwache entweder nicht die richtigen Tafeln auswählt oder zu denselben noch Tafeln mit verschiedenfarbigen Ringen hinzulegt.

Wenn der Verdacht auf Dissimulation von Farbenblindheit vorliegt, so sind die Tafeln wegen ihrer geringen Anzahl, durch welche eine Einübung auf die Probe möglich ist, mit Vorsicht zu verwenden. Jedenfalls sind die Nummern, mit denen die einzelnen Tafeln bezeichnet sind, zu entfernen, um dem Untersuchten keinen Anhaltspunkt zu bieten.

Daae's Farbentafel (88). Auf einer Tafel sind in zehn Horizontalreihen je sieben Felder aus dicken Wollfäden zusammengesetzt. Eine der zehn Reihen enthält nur grüne, eine andere nur rote Wollfäden von verschiedener Helligkeit und Sättigung, während in den übrigen Reihen sich farbige und graue Wollfäden in pseudoisochromatischen Zusammenstellungen finden.

Die Tafel wird dem Untersuchten in ca. 1—2 m Entfernung vorgehalten und er hat anzugeben, welche Reihen ihm gleichfarbig erscheinen. Außerdem kann man, analog wie bei den Nagel'schen Tafeln, danach fragen, in welchen Horizontalreihen rote oder grüne Wollfäden enthalten seien. Werden bei diesen Proben Fehler begangen, so ist eine Störung des Farbensinnes wahrscheinlich.

Wenn man die ursprüngliche Anordnung der einzelnen Felder beibehält und nicht durch Zerschneiden der Tafel eine andere Zusammenstellung derselben ermöglicht, gestattet diese Probe dem Dissimulanten in bequemster Weise die Einübung auf die Prüfung, woran man stets denken muss.

Florkontrast. An dieser Stelle sei auch der Methoden Erwähnung gethan, welche die Farbensinnprüfung mit Hilfe des Meyer'schen Florkontrastes (9) vornehmen.

1 In dieser Form lassen sich die Farbenbenennungen als diagnostisches Hilfsmittel allenfalls verwerten.

Wenn man auf einen gleichmäßig farbigen Grund farblose (graue, schwarze) Papierstückchen legt und das ganze dann mit Flor- (Seiden-)papier bedeckt, so sieht man die Färbung des Grundes matt durchschimmern. Ebenso erkennt man auch die farblosen Papierstücke, die aber nicht farblos, sondern zur Färbung des Grundes gegenfarbig erscheinen.

Der Grundgedanke dieser Methode besteht darin, dass, falls der Untersuchte die Farbe des Grundes nicht wahrzunehmen vermag, dieser ihm also grau erscheint, er auch nicht im stande ist, die Kontrastfarbe zu sehen. Wenn also der Grund und die grauen Papiere von derselben Helligkeit bei Betrachtung durch das Florpapier sind, wird er letztere nicht erkennen können. Er sieht demnach die ganze Fläche des Florpapieres gleichmäßig grau, während der Normale zwei Farben darauf unterscheiden kann. Man ist daher berechtigt, auch hier von einer pseudoisochromatischen Farbenzusammenstellung zu sprechen.

Zur Prüfung des Farbensinnes ist der Florkontrast zuerst von Ad. Weber (30) benutzt worden und hat dann größere Verbreitung durch das Florbuch von Pflüger (129, 194) gewonnen.

Dieses besteht aus einer Reihe von Tafeln in verschiedener Färbung. Auf den einfarbigen Grund sind schwarze und graue Buchstaben und Ziffern gedruckt, welche durch ein, zwei oder drei Florpapiere erkannt werden sollen. Einzelne der Tafeln können nicht nur von Normalen, sondern auch von Farbenblinden gelesen werden, während andere von den mit einer Farbensinnstörung Behafteten nicht entziffert werden können. Freilich wird die letzte (blaue) Tafel, welche zur Diagnose von Blaugelbblindheit dienen soll, auch von dem Normalen nur mit allergrößter Mühe erkannt, und auch dann meist nur teilweise.

Dem Pflüger'schen Florbuch nicht vorzuziehen ist die kleine Tafel von Cohn (339) mit purpurfarbigem (neutralrotem) Grunde und schwarzen E-förmigen Haken, welche mit ihren Öffnungen nach oben, unten, rechts oder links gerichtet sind. Der Untersuchte hat bei Betrachtung durch das Florpapier anzugeben, nach welcher Richtung die Haken geöffnet sind. Diese Tafel ist aber auch für den völlig Normalen nur sehr schwer entzifferbar.

Die Hauptschwierigkeit bei der Verwendung des Florkontrastes liegt in der Herstellung genau gleicher Helligkeit zwischen dem durchschimmernden Grunde und den durchschimmernden Figuren. Ist diese aber nicht ganz gleich, so kommt die Helligkeitsdifferenz bei der Probe mit ins Spiel und die Entzifferung kann allein mit Hilfe des Lichtsinnes möglich sein[1].

[1] Neuerdings hat Pflüger seine Tafeln auf eine einzige purpurfarbige reduziert, auf welcher graue Scheiben von verschiedener Helligkeit angeordnet sind. Dadurch soll nach Möglichkeit die Mitwirkung des Lichtsinnes bei dieser Prüfung ausgeschlossen werden, weil die Wahrscheinlichkeit, wenigstens für einzelne Scheiben gleiche Helligkeit mit dem Grunde zu erzielen, viel größer ist als bei dem Florbuch, in dem sich nur zwei Helligkeitsstufen der farblosen Zeichen finden.

Selbst wenn sich dieser Faktor ausschließen ließe, kann mit Hilfe des Florkontrastes allein ebenso wenig wie mit den anderen bisher besprochenen Methoden entschieden werden, ob jemand, dem die Entzifferung einzelner Tafeln des Pflüger'schen Florbuches nicht gelingt, farbenblind oder nur farbenschwach ist. Denn die zur Prüfung verwendeten Farben sind ja ganz außerordentlich ungesättigt.

3. Einstellbare pseudoisochromatische Gleichungen.

§ 121. Wie bereits mehrfach erwähnt, können die besprochenen pseudoisochromatischen Proben sehr wohl dazu dienen, eine Störung des Farbensinnes überhaupt festzustellen, und sind deshalb wegen ihrer bequemen Handhabung ebenso wie die Wahlproben zur vorläufigen orientierenden Untersuchung geeignet. Es wird nur außerordentlich selten vorkommen, dass ein mit ausgesprochener Farbensinnstörung Behafteter diese Proben sämtlich zu bestehen im stande ist. Andererseits aber können auch einige dieser Proben dazu führen, Personen, deren Farbensinn als normal oder jedenfalls als vollwertig anzusehen ist, als farbenuntüchtig anzusprechen. Es ist deshalb unter allen Umständen erforderlich, diejenigen Individuen, welche einige oder auch alle bisher besprochenen Proben nicht bestanden haben, noch mittelst einer einstellbaren pseudoisochromatischen Gleichung genauer zu untersuchen, und zwar am besten mit dem weiter unten beschriebenen Hering'schen Apparat, weil dieser die vielseitigste Anwendung gestattet. Man würde sonst zuweilen Personen, welche farbentüchtig sind, von einzelnen Berufsarten (Marine, Eisenbahn) mit Unrecht ausschließen, z. B. die sogenannten anomalen Farbentüchtigen, weil deren Farbensinn den dabei gestellten Ansprüchen genügen würde.

Das Wesen der einstellbaren pseudoisochromatischen Gleichungen besteht darin, dass für jeden einzelnen untersuchten Farbenuntüchtigen aus zwei Farben, welche dem Normalen durchaus verschieden erscheinen, eine für ihn vollkommen gültige Farbengleichung hergestellt wird. Dadurch wird den jeweiligen individuellen Eigentümlichkeiten des Farbensehens des Untersuchten in vollem Maße Rechnung getragen, was eben bei den besprochenen (stabilen) pseudoisochromatischen Proben unmöglich war.

Im Prinzip ist also von den hierher gehörigen Methoden zu verlangen, dass mindestens eine der beiden Farben unabhängig von der anderen sowohl in ihrem Farbenton als in ihrer Helligkeit variiert werden kann.

Als Übergang zwischen den besprochenen pseudoisochromatischen Proben und denjenigen Methoden, welche der erwähnten Forderung genügen, kann der Apparat von Nagel (330, 343) gelten, bei welchem nur eine Änderung der Helligkeit des Farbenfeldes möglich, dagegen eine Variierung des

Farbentones ausgeschlossen ist[1]). Infolgedessen wird mit ihm auch durchaus nicht immer eine wirkliche Gleichung für jeden Farbenblinden möglich sein. Farbensinnschwäche lässt sich mit ihm nicht untersuchen, weil eine Sättigungsänderung der farbigen Felder nicht möglich ist.

Der Apparat, welcher auf einem Stativ befestigt ist, besteht aus einem Auerbrenner und einer vor demselben befindlichen Röhre, welche durch eine vertikale Scheidewand etwa bis zur halben Länge in zwei Hälften geteilt ist. Die dem Auerbrenner zugekehrte Öffnung derselben ist durch zwei Halbscheiben aus Mattglas verschlossen, vor denen zwei Schieber beweglich sind. Durch Vor- oder Zurückschieben derselben kann der Lichtzutritt zu jeder Hälfte der Röhre variiert werden. Ein zweites Paar Halbscheiben, ebenfalls aus Mattglas, befindet sich im weiteren Verlaufe der Röhre. Zwischen dieses und ein unmittelbar dahinter befindliches Diaphragma mit zwei kreisförmigen Öffnungen von ca. 1 cm Durchmesser können auf jeder Seite farbige Glasstreifen eingeschoben werden. Diese sind neuerdings durch kleine runde Gläser ersetzt, welche in eine Drehscheibe gefasst sind, so dass ihre Auswechselung in einfachster Weise besorgt werden kann und das besondere Diaphragma überflüssig geworden ist. Auf jeder Seite findet sich ein rotes, gelbes und grünes Glas; außerdem trägt die Drehscheibe noch eine unverschlossene Öffnung. Es ist dadurch eine ziemlich mannigfaltige Kombination von Farben möglich, deren Helligkeit durch die erwähnten Schieber an der dem Auerbrenner zugekehrten Röhrenöffnung beliebig geändert werden kann. Ein Mangel ist das Fehlen eines blauen Glases in der Drehscheibe, welches zur Prüfung auf Gelbblaublindheit noch eingeschaltet werden müsste. Ein Schirm, welcher an der dem Auerbrenner abgewendeten Öffnung der Röhre angebracht ist, schützt den Beobachter vor dem blendenden Licht der Auerlampe.

Bei der Untersuchung stellt sich der zu Prüfende in einiger Entfernung vor den Apparat, welcher so orientiert ist, dass das Fenster des Beobachtungszimmers sich seitwärts vom Untersuchten befindet. Beim Hineinblicken in die Röhre zeigen sich ihm zwei durch einen Zwischenraum getrennte farbige Felder auf dunklem Grunde. Man stellt am besten auf der einen Seite Rot, auf der anderen Gelb ein. Den Schieber auf der roten Seite öffnet man maximal und ändert dann die Helligkeit des gelben Feldes durch den anderen Schieber so lange, bis der Untersuchte angiebt, dass beide Felder ihm gleich erscheinen. Der Rotgrünblinde des ersten Typus stellt dabei ein viel dunkleres Gelb ein als derjenige des zweiten Typus. Dasselbe ist der Fall, wenn man statt Gelb Grün mit Rot vergleichen lässt. Für die Gleichung zwischen Rot und Gelb kann man die für die annähernde

[1]) Es sei bemerkt, dass der Nagel'sche Apparat wohl systematisch den Übergang zu den folgenden Methoden bildet, genetisch aber sowohl das Hering'sche Fenster, wie der Hering'sche Apparat demselben vorausgehen.

Einstellung der Gleichung angegebenen Marken I und II benutzen, auf welche man den betreffenden Schieber einstellen muss, um ungefähr die Gleichung für den ersten, bezw. zweiten Typus der Rotgrünblinden zu erhalten.

Zu beachten ist, dass wegen der Invariabilität des Farbentones durchaus nicht immer volle Gleichung zwischen beiden Feldern erzielt werden kann. Erleichtert wird die Herstellung einer Scheingleichung freilich dadurch, dass sich beide Farbenfelder nicht unmittelbar nebeneinander befinden.

§ 122. Eine Änderung sowohl des Farbentones wie der Helligkeit gestattet der Rose'sche Farbenmesser[1] (13). Dieser Apparat bedient sich der durch Circumpolarisation durch den Bergkrystall entstehenden Farben, deren Farbenton und Helligkeit durch eine Kombination mit Nicol'schen Prismen beliebig variiert werden kann. Durch Einschaltung eines doppelbrechenden Prisma kann man dann gleichzeitig zwei Farben im Gesichtsfeld sichtbar machen, welche einander stets gegenfarbig sind. Ein Übelstand an dem Farbenmesser besteht darin, dass bei Drehung des einen Nicols immer gleichzeitig der Farbenton beider Felder geändert wird. Misslich ist bei dem Apparat auch, dass für jeden Farbenblinden nur eine einzige Gleichung möglich ist und die Felder ziemlich klein sind[2]. Da durch die gleich zu besprechenden Hering'schen Methoden der Farbenmesser entbehrlich geworden ist, braucht hier nicht näher auf ihn eingegangen zu werden.

Die erwähnten Übelstände lassen sich beseitigen, wenn man zur Untersuchung den Farbenkreisel oder besonders konstruierte Spektralapparate verwendet (Helmholtz, Hering). Die letzteren aber setzen eine viel zu große Übung sowohl von seiten des Untersuchers wie des Untersuchten voraus, als dass sie in der Praxis Verwendung finden könnten.

Will man sich des Farbenkreisels zur Untersuchung Farbenblinder bedienen, so genügen zur Herstellung einer Gleichung mit jedem beliebigen farbigen Papier eine sattgelbe und eine sattblaue Scheibe (für den Rotgrünblinden), bezw. eine sattrote und eine sattgrüne (für den Gelbblaublinden). Auf der einen oder der anderen Seite muss man dann eventuell zum Ausgleich einer etwa vorhandenen Sättigungsdifferenz noch Weiß oder Schwarz zusetzen. Bei Benutzung des Farbenkreisels — sehr zweckmäßig ist der Rothe'sche Farbenkreisel (179, 180) — aber erfordert trotz einfachster Handhabung die Einstellung einer Gleichung sehr viel Zeit, weil zu jeder Änderung der Scheibenstellung der Kreisel arretiert werden muss. Daher wird auch diese Untersuchungsmethode wissenschaftlichen Beobachtungen vorbehalten bleiben.

1) Der Apparat war mir nicht zugänglich.

2) Das König'sche Leukoskop (221), welches den letzten Übelstand nicht besitzt, ist wegen der Unmöglichkeit der Helligkeitsänderung der Farben für den vorliegenden Zweck ganz unbrauchbar.

Allen praktischen Anforderungen genügen zwei von Hering angegebene Methoden.

§ 123. Das Hering'sche Fenster. Zur genaueren Diagnose der Farbenblindheit ist das sogenannte Hering'sche Fenster, welches auch zur Demonstration der farbigen Schatten dient, bei entsprechender Einrichtung außerordentlich geeignet (Hering 255, insbesondere S. 126—134).

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei dieser Methode nicht um die Benutzung farbiger Schatten in der Weise handelt, wie sie zuerst von Stilling (29) vorgeschlagen worden ist. Bei der Stilling'schen Art der Prüfung kommt es darauf an, eine weiße Fläche, welche vom Tageslicht beleuchtet ist, außerdem noch mit einem farbig wirkenden Lichte zu beleuchten, mit Ausnahme eines begrenzten Teiles, der also nur vom Tageslicht getroffen wird. Das lässt sich durch einen schattenwerfenden Stab in einfacher Weise erreichen. Diese objektiv farblose Stelle erscheint nun infolge des Simultan- und Successivkontrastes in der Gegenfarbe. Stilling fragte nun den Untersuchten nach der Farbe des Schattens und schloss aus den Aussagen auf eine etwa bestehende Farbensinnstörung. Er setzte voraus, dass, falls der Farbenblinde die Farbe des übrigen Grundes — z. B. Rot — nicht empfinden konnte, auch der Schattenkontrast ihm fehlen müsste, er also den Schatten farblos sehen würde. Dagegen ist zu bemerken, dass es erstens rein zufällig ist, wenn man ein farbiges Glas zur Beleuchtung der weißen Fläche findet, welches für den Farbenblinden keinerlei farbige Valenz besitzt, ihm also neutral grau erscheint. Ist es aber für ihn entweder bläulich oder gelblich (falls es sich um ein rotes oder grünes Glas handelt), so wird natürlich auch der Schatten dem Farbenblinden in der Gegenfarbe, also farbig erscheinen, sofern nicht gleichzeitig (bei Rotgrünblindheit) eine Herabsetzung des Gelbblausinnes vorhanden ist. Eine Änderung des Farbentones der farbig wirkenden Beleuchtung aber gestatten weder die ursprüngliche Stilling'sche Methode, noch ihre Modifikationen von Holmgren (55), Cohn (40) u. a., während das bei der Hering'schen Methode leicht möglich ist. Der zweite erheblichere Mangel der Stilling'schen Methode aber besteht darin, dass die Untersuchung sich allein auf die Farbenbenennung des Untersuchten stützt und das aus den oben angeführten Gründen prinzipiell falsch ist. Gerade beim Schattenkontrast wird zunächst fast stets die Farbe von Farbenblinden richtig benannt.

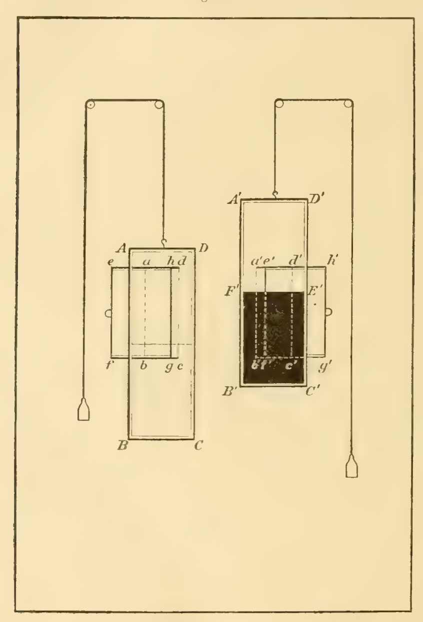
Die Hering'sche Methode sieht von den Farbennamen ganz ab und geht nur darauf aus, eine für den Farbenblinden gültige Gleichung herzustellen zwischen dem objektiv farblosen Schatten und dem übrigen farbig beleuchteten Teil der weißen Fläche.

Dieses Ziel wird durch folgende Versuchseinrichtung erreicht (vgl. Fig. 165):

In dem Fensterladen eines Dunkelzimmers befinden sich zwei rechtwinklige Ausschnitte *abcd* und *a'b'c'd'* von ca. 50 cm Höhe und ca. 25 cm Breite, durch welche freier Eintritt des Himmelslichtes ermöglicht wird. Dieser kann durch zwei Schieber, *efgh* und *e'f'g'h'*, welche rechtwinklig zur Längsachse der Ausschnitte beweglich eine Verschmälerung und Verbreiterung derselben gestatten, reguliert werden. Vor jedem Ausschnitt befindet sich

ein Rahmen, $ABCD$ und $A'B'C'D'$, welcher in einer Führung gleitet und mittelst Gewichten und Schnurlauf, der über Rollen an dem oberen Teil des Ladens geführt ist, äquilibriert wird. In den einen Rahmen ist eine mattgeschliffene farblose Glasplatte (entsprechend $A'F'E'D'$) eingelegt, welche

Fig. 165.

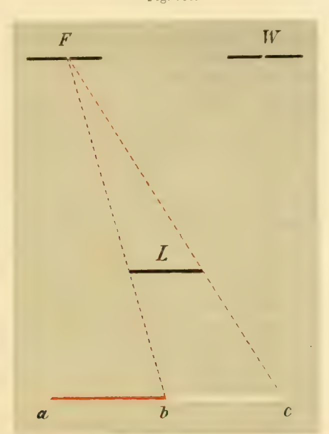


so lang sein muss, dass sie den Ausschnitt im Laden in seiner ganzen Höhe bedecken kann. Sie füllt die eine Hälfte des doppelt so langen Rahmens aus, während die andere von einer schwarzen Papptafel (entsprechend $F'B'C'E'$) eingenommen wird. Der andere Rahmen vor dem zweiten

Ausschnitt des Ladens ist ebenso eingerichtet, nur trägt er zwei farbige Gläser, deren Farbe je nach der Gleichung, welche man einstellen will, zu wählen ist. Jedes dieser Gläser muss ebenfalls so lang sein, dass es den Ausschnitt in seiner ganzen Höhe zu bedecken vermag.

Vor dem Fenster befindet sich ein Tisch, auf welchem eine matte, quadratische, ebene, weiße Tafel (am besten eine mattgeschliffene Milchglasplatte) von ca. 13 cm Seite, vertikal aufgestellt ist. Sie ist entweder auf

Fig. 166.



einem mit schwarzem Wollpapier oder Sammet überzogenen Vertikalschirm befestigt oder steht frei vor einem tiefschwarzen Hintergrunde. Zwischen ihr und dem Fenster befindet sich eine vertikal stehende geschwärzte Latte von ca. 6 cm Breite, 50 cm Höhe und 0,5 cm Dicke. Diese entwirft auf der weißen Tafel zwei Schatten, welche von je einem der Ausschnitte im Fensterladen herrühren. Bei richtigem Verhältnis der Abstände zwischen dem weißen Schirm, der Latte und den Fensterladenausschnitten ist die weiße Tafel zur einen Vertikalhälfte nur von farbigem, zur anderen nur von farblosem Lichte beleuchtet, wie es durch die vorstehende Fig. 166 im Horizontalschnitt versinnlicht wird.

L ist der Querschnitt der Latte, *ac* derjenige des weißen Schirmes, *F* und *W* deuten die beiden schmalen Ausschnitte im Fensterladen an. Das Stück *ab* des Schirmes wird nur von *F* beleuchtet, die Strecke *bc* dagegen nur von *W*. Die beiden Schatten (*ab* und *bc*) müssen unmittelbar aneinander grenzen[1]).

Ist nun z. B. *F* durch farbiges, sagen wir rotes Glas, *W* durch das weiße Mattglas bedeckt, so wird auf den Teil *bc* des Schirmes nur weißes Licht fallen, während *ab* nur von farbigem Licht beleuchtet wird. Dieser Teil wird also dem Normalen rot erscheinen, während die andere Hälfte in der Kontrastfarbe — hier also weißlichgrün — gesehen wird. Durch Verschieben des vor *W* befindlichen Rahmens mit dem weißen Mattglase lässt man nur soviel Licht durch den Ausschnitt einfallen, dass beide Hälften des Schirmes gleich hell zu sein scheinen.

Dem Rotgrünblinden erscheint nun im gegebenen Falle, wenn das rote Glas allein den Ausschnitt *F* verdeckt, die eine Hälfte (*ab*) des Schirmes gelblich — denn die roten Gläser sind stets mehr oder weniger gelblichrot — und die andere Hälfte (*bc*) im Kontrast bläulich.

Die Aufgabe ist es nun, durch Verschieben des einen Rahmens, in welchem sich außer der roten noch eine blaue Glasscheibe befindet, dasjenige Verhältnis beider Farben zu finden, bei welchem dem Farbenblinden die farbig beleuchtete Hälfte der weißen Tafel genau gleich erscheint mit der vom farblosen Lichte beleuchteten Hälfte. Dazu ist es erforderlich, den Rahmen vor dem Ausschnitte *F* zu verschieben, und zwar in der Richtung, dass ein Teil des Ausschnittes von dem blauen Glase verdeckt wird. Man muss soviel Blau zusetzen und dementsprechend Rot fortnehmen, bis der Farbenblinde angiebt, dass keine der beiden Hälften bläulich oder gelblich sei. Die etwa entstehende Helligkeitsdifferenz zwischen beiden Hälften des weißen Schirmes ist stets entsprechend den Angaben des Untersuchten durch Verschieben des Rahmens mit dem farblosen Mattglase vor dem Ausschnitte *W* zu korrigieren.

Man darf nicht eher mit den Einstellungen aufhören, als bis eine vollkommene Gleichung zwischen beiden Hälften für den Farbenblinden erreicht ist, d. h. bis er angiebt, dass ihm die ganze weiße Tafel in einer und derselben Farbe erscheint; ob er diese dann rot, grün oder grau nennt, ist dabei ganz gleichgültig.

Die ganze Prüfung ist bei einiger Übung des Untersuchers in 2—3 Minuten beendigt und damit zugleich entschieden, ob der Untersuchte dem ersten oder zweiten Typus der Rotgrünblinden angehört.

1) Wegen der geringen Breite von *F* und *W* sind die Halbschatten so wenig breit, dass sie gar nicht stören.

Liegt nämlich ein Fall des ersten Typus vor, so wird in der eingestellten Gleichung die dem Normalen grünlich erscheinende (objektiv farblose) Hälfte viel dunkler sein als die rote, welche meist einen Stich ins Gelbliche zeigen wird, jedenfalls aber nicht bläulich erscheint. Der Rotgrünblinde des zweiten Typus dagegen stellt die Helligkeit beider Hälften so ein, dass sie auch dem Normalen ungefähr gleich zu sein scheint. Das eingestellte Rot besitzt außerdem für den Normalen einen Stich ins Bläuliche.

Natürlich kann man statt der Gleichung Rot und Farblos (das für den Normalen vorhandene Grün ist ja nur subjektiv!) zur Untersuchung der Rotgrünblindheit auch die Gleichung zwischen Grün und Farblos verwenden. Die erstere ist aber im allgemeinen vorzuziehen, weil das von den roten Gläsern gelieferte farbig wirkende Licht sattfarbiger ist, da diese nur einen beschränkten Teil des Spektrums durchlassen, die grünen Gläser aber einen ungleich größeren Teil nicht absorbieren und daher weniger sattfarbig erscheinen.

Bei der Diagnose der Blaugelbblindheit ist das Verfahren dasselbe wie bei Rotgrünblindheit, nur wird dabei als Ausgangspunkt bei der Untersuchung eine Stellung des Rahmens mit den farbigen Gläsern vor dem Ladenausschnitte F zu wählen sein, bei welcher entweder ein blaues oder ein gelbes Glas den ganzen Ausschnitt bedeckt. Nach Erfordernis wird man dann Rot oder Grün zusetzen, wobei man die notwendige Helligkeitsregulierung am anderen Rahmen vornimmt.

Zur Feststellung totaler Farbenblindheit lässt man am besten zuerst eine Gleichung zwischen Rot (oder Grün) und Farblos, dann eine zwischen Gelb (oder Blau) und Farblos einstellen.

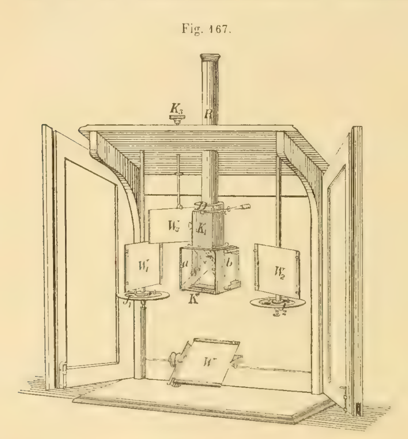
Zur Untersuchung schwachen Farbensinnes lässt sich das Hering'sche Fenster ebenfalls verwenden, wenn man noch eine dritte Öffnung im Fensterladen anbringt, durch welche farbloses Licht einfällt, welches in gleicher Weise beide Hälften der weißen Tafel beleuchten muss. Ist die Größe dieser Öffnung variabel, so kann man beliebig die Sättigung der Farben ändern und auf diese Weise für den Farbensinnschwachen eine Gleichung zwischen zwei wenig gesättigten Farben erzielen, welche der Normale noch sehr wohl als verschieden erkennt.

§ 124. Hering's Apparat zur Untersuchung des Farbensinnes (278). In einem kubischen Kästchen K (Fig. 167), welches innen geschwärzt ist, sind drei der sechs Wände zur Hälfte entfernt. Zwei dieser länglich rechteckigen Öffnungen sind in der Figur sichtbar (a und b). Die eine derselben (b) befindet sich in der hinteren Hälfte der einen Seitenwand, die andere (a) in der vorderen Hälfte der gegenüberliegenden Seite, und der dritte Ausschnitt nimmt ebenfalls die vordere Hälfte des Bodens des Kästchens ein. Die Oberwand desselben ist zum allergrößten Teil entfernt, so

dass eine Fortsetzung des Innenraumes nach dem zweiten kleineren Kästchen K_1, dessen Einrichtung weiter unten beschrieben wird, und der Röhre R gegeben ist. Die drei zuerst erwähnten Öffnungen an den Seiten und dem Boden des Kästchens K sind durch farbige Gläser verschlossen[1]). Die Farbe und Anordnung derselben hängt davon ab, welche Farbensinnstörung untersucht werden soll.

Jeder der drei Ausschnitte wird durch eine mattgeschliffene Milchglasplatte (W, W_1, W_2) mit diffusem weißem Tageslichte beleuchtet, welches

Fig. 167.



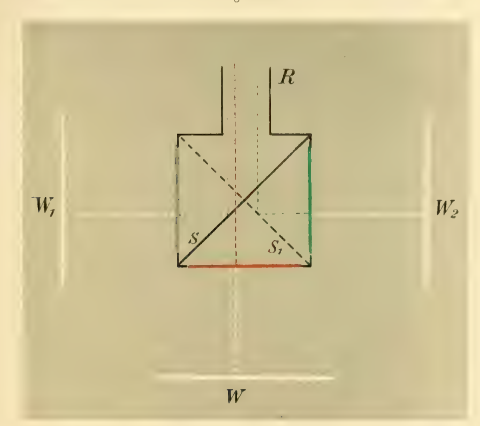
beim Durchgang durch die farbigen Gläser gefärbt in das Innere des Kästchens gelangt. In diesem befinden sich zwei passend geneigte Spiegelglasplatten von der halben Breite des Kästchens — eine unbelegte vordere S und eine belegte hintere S'. In der Figur ist die Lage derselben sichtbar.

Nehmen wir nun an, wie es bei der Untersuchung auf Rotgrünblindheit der Fall sein muss, dass in der Öffnung am Boden des Kästchens ein rotes (gelblichrotes) Glas eingefügt ist, in derjenigen auf der linken Seite a ein blaues, rechts b ein grünes Glas. Der Gang, welchen die Lichtstrahlen dann nehmen, ist durch die Fig. 168 veranschaulicht. Von der

1) Um einen besseren Einblick in das Kästchen zu gewähren, sind die farbigen Gläser bei a und b entfernt, desgleichen die ganze Vorderwand des Kästchens.

Milchglasplatte W gelangt das Licht nach dem Durchgang durch das rote Glas und den die vordere Kästchenhälfte einnehmenden unbelegten Spiegel S in die Röhre R und erfüllt hier die eine Hälfte des kreisförmigen Gesichtsfeldes, welches sich dem Beobachter darbietet, wenn er in die Röhre R von oben hineinblickt. Von W_1 wird das Licht durch das blaue Glas gesendet und wird von der vorderen unbelegten Spiegelglasplatte S zum Teil reflektiert, wobei es sich dem roten von unten kommenden Lichte beimischt. Auf der anderen Seite (von W_2 reflektiert) tritt das Licht durch das grüne Glas in

Fig. 168.



das Kästchen ein, wird von dem belegten Spiegel S_1 fast vollständig reflektiert, gelangt ebenfalls in die Röhre R und dient zur Erfüllung der anderen Hälfte des Gesichtsfeldes.

Zur Untersuchung wird der Apparat mit halbgeöffneten Seitenflügeln, wie es die Fig. 167 zeigt, vor ein helles Fenster gestellt, und der Untersuchte blickt, hinter dem Apparat stehend, mit dem Gesicht dem Fenster zugewendet, in die Röhre hinein. Der Farbentüchtige sieht nun die ihm zugekehrte Hälfte des Gesichtsfeldes grün, die andere Hälfte aber in einer Farbe, welche von dem Mischungsverhältnis der durch das rote und blaue Glas gegangenen Strahlungen abhängt. Beide Hälften zeigen sehr gesättigte Farben.

Es gilt nun für den Farbenblinden (zunächst betrachten wir den Rotgrünblinden) beide Hälften einander ganz gleich zu machen. Zu dem Zwecke sind die drei Milchglasplatten W, W_1 und W_2 drehbar, und zwar W um eine horizontale Achse, W_1 und W_2 um je eine vertikale Achse, welche sich in einen Metallstab fortsetzt. Dieser durchbohrt die Decke des Holzkastens, in welchem der ganze Apparat eingeschlossen ist. Diese Metallstäbe enden oben mit Knöpfen (in der Fig. 167 nicht sichtbar), an welchen die erforderlichen Drehungen gemacht werden können. Die Stellungen der drei Platten W, W_1 und W_2 können an den drei Gradbogen J, J_1 und J_2 abgelesen werden.

Man giebt zuerst der Platte W eine solche Stellung, dass eine gute Helligkeit der roten Gesichtsfeldhälfte gegeben ist, und zwar auch bei völligem Abschluss des Lichtes, welches von W_1 reflektiert durch das blaue Glas kommt. (Weiß man bereits, ob es sich um einen Rotgrünblinden der ersten oder zweiten Klasse handelt, so thut man gut, im ersteren Falle die Helligkeit möglichst groß zu machen, weil dem Rotgrünblinden des ersten Typus das Rot ohnehin sehr dunkel erscheint.) Dann stellt man die Platte W_2 so ein, dass beide Hälften des Gesichtsfeldes dem Normalen ungefähr gleich hell erscheinen, und fordert nun den Untersuchten auf, in die Röhre zu blicken und anzugeben, ob beide Gesichtsfeldhälften gleich hell seien oder nicht und ob eine gelblicher oder bläulicher als die andere erscheine. Es kommt gar nicht darauf an, ob der Untersuchte die eine oder andere Hälfte rot oder grün nennt, sondern ausschließlich auf deren Bläulichkeit oder Gelblichkeit.

Wird die für den Normalen rote Hälfte als zu gelblich bezeichnet, so mischt man durch entsprechende Drehung am Knopf, welcher der Platte W_1 entspricht, Blau zu, während eine Helligkeitsdifferenz durch Drehung der Platte W_2 ausgeglichen wird. Das Verfahren ist also analog demjenigen bei dem Hering'schen Fenster und muss, falls mit Sicherheit die Diagnose auf Rotgrünblindheit gestellt werden soll, so lange — mit eingeschobenen Pausen, um das Auge des Untersuchten vor lokaler Adaptation zu schützen — fortgesetzt werden, bis vollkommene Gleichung erzielt worden ist. Diese muss dann auch nach längerer Pause wieder anerkannt werden.

Der Rotgrünblinde des ersten Typus hat dann meist ein für den Normalen sehr dunkles Grün[1] und ein etwas gelbliches Rot, derjenige des zweiten Typus dagegen ein schwach bläuliches Rot und ein für den Farbentüchtigen etwa gleich helles Grün eingestellt. Es sind das also dieselben Gleichungen, wie sie oben (S. 415) bereits angegeben worden sind.

Für den Rotgrünblinden können statt der Gleichung zwischen Rot und Grün auch diejenigen zwischen Rot und Grau oder Rot und Gelb benutzt werden.

1 Das dem Apparat beigegebene grüne Glas ist ungefähr für den Farbenblinden neutral (farblos).

Bei der Untersuchung auf Blaugelbblindheit wird statt des grünen Glases in die Öffnung b ein gelbes eingeschoben, statt des roten im Boden des Kästchens ein blaues und an Stelle des blauen Glases in a ein grünes oder rotes (je nach Erfordernis). Im übrigen ist die Einstellung der Gleichung analog wie für den Rotgrünblinden.

Zu beachten ist, dass stets die Regulierung der Helligkeit durch Drehung der Platte W_2, die erforderliche Tonänderung dagegen durch Drehung der Platte W_1 herbeigeführt werden muss.

Zur Diagnose der totalen Farbenblindheit lässt sich der Apparat natürlich auch verwenden. Da der Totalfarbenblinde zwischen je zwei (für den Normalen) farbig wirkenden Lichtern bei entsprechendem Intensitätsverhältnis derselben eine Gleichung erhält, ist es schließlich gleichgültig, welche Farben man wählt. Am sichersten aber geht man, wenn man eine Gleichung zwischen Rot und Grün und eine zwischen Gelb und Blau einstellen lässt, denn wenn der Untersuchte bei keinem dieser zwei Gegenfarbenpaare einen Unterschied erkennt, so kann nur totale Farbenblindheit vorliegen, vorausgesetzt, dass die benutzten Farben sattfarbig genug sind, wie das bei diesem Apparat der Fall ist. Anderenfalls wäre freilich auch an schwachen Farbensinn zu denken, der sich in bequemster Weise auch mit dem Hering'schen Apparate feststellen lässt.

Zu diesem Zwecke ist noch folgende Einrichtung vorhanden: Über dem Kästchen K befindet sich das kleinere Kästchen K_1 (Fig. 167), welches an der einen Seite offen ist (außerdem fehlen Boden und Decke, um den von unten kommenden Strahlen den Durchtritt in die Röhre R zu gewähren). Diese Seitenöffnung ist bei der Untersuchung auf Farbenblindheit verschlossen. (In der Figur ist der Griff des verschließenden Schiebers zu sehen. Er hebt sich auf derselben von der Milchglasplatte W_3 ab.) Ist der Schieber entfernt, so wird durch eine mattgeschliffene Milchglasplatte W_3 weißes Licht in das Kästchen geworfen, welche Platte um eine vertikale Achse in derselben Weise wie W_1 und W_2 mittelst eines Knopfes (K_3) drehbar ist. Das auf diese Weise zugeführte Licht wird im Innern des Kästchens an einer unbelegten, unter 45° geneigten Spiegelglasplatte reflektiert, wodurch es sich dem von unten kommenden farbig wirkenden Licht zumischt, und zwar in gleicher Menge sowohl derjenigen Strahlung, welche die eine Hälfte, als auch derjenigen, welche die andere Hälfte des Gesichtsfeldes erfüllt. Durch Drehung der Platte W_3 mittelst des Knopfes K_3 ist es nun möglich, die Menge des dem farbig wirkenden Lichte zuzumischenden weißen Lichtes beliebig zu variieren und dadurch auch eine willkürliche Änderung in der Sättigung der beiden das Gesichtsfeld erfüllenden Farben herbeizuführen. Dieselbe erfolgt stets für beide Farben gleichzeitig. Man kann dadurch die Farben so ungesättigt machen, indem man erforderlichen Falles auch die Stellung der drei anderen Milchglasplatten W, W_1 und W_2

ändert, dass das farbenschwache Auge nicht mehr im stande ist, die beiden Farben zu erkennen, und dann das ganze Gesichtsfeld einfarbig grau oder weiß sieht.

Zur Untersuchung centraler Farbenskotome von beschränkter Ausdehnung befindet sich eine Irisblende D am unteren Ende der Röhre R, wodurch das Gesichtsfeld von einer maximalen Ausdehnung — entsprechend einem Gesichtswinkel von ca. 6° 15′, gleich einer Feldgröße von ca. 26 mm auf mittlere Sehweite von 30 cm — beliebig verkleinert werden kann. Bei einiger Übung seitens des Untersuchers ist die Handhabung des Apparates eine sehr einfache, wenn bereits durch eine der oben beschriebenen Methoden das Bestehen einer Farbensinnstörung wahrscheinlich gemacht ist. Die Untersuchung ist dann meist in wenigen Minuten zu bewerkstelligen.

Anhang.

§ 125. Untersuchung Farbenblinder mit Hilfe des Spektrums. Im allgemeinen ist die Prüfung des Farbensinnes mittelst spektraler (homogener) Lichter für den Praktiker zu zeitraubend und kompliziert und ist deshalb genaueren wissenschaftlichen Untersuchungen vorzubehalten. Einzelnes aber lässt sich leicht auch in der Praxis feststellen, sofern nur die erforderlichen Apparate vorhanden sind. Es sollen deshalb hier mit ein paar Worten die einfachsten Methoden besprochen werden, welche zur Ermittelung einer sogenannten Verkürzung des einen oder anderen Spektralendes dienen, sowie die Art, in der man ungefähr die Lage der hellsten Stelle im Spektrum und diejenige der neutralen Stelle bestimmen kann.

Verkürzung des Spektrums. Zur Feststellung der Thatsache, ob für den Untersuchten an dem einen oder anderen Ende des Spektrums eine Verkürzung vorhanden ist, d. h. ob sein Auge für die langwelligsten oder kurzwelligsten Strahlen, welche vom normalen Auge noch empfunden werden, unempfindlich ist, kann man sich der Gitterspektren bedienen (Rose). Wenn man ein feines in Glas geritztes Gitter vor das Auge hält und nach einem entfernten leuchtenden Spalte blickt, so sieht man in der Mitte das Bild des Spaltes und zu beiden Seiten von diesem ein Spektrum, mit dem violetten Ende nach der Mitte zugewandt. Dann folgt ein dunkler Zwischenraum und ein zweiter farbiger Streifen, der dadurch zu stande kommt, dass alle von dem Gitter herrührenden Spektren, je peripherer sie liegen, sich um so mehr überdecken. Das zweite Spektrum dagegen reicht noch nicht an das erste heran, und dadurch entsteht der dunkle Zwischenraum zwischen ihnen.

Wenn nun das Auge des Untersuchten das eine oder andere Ende des Spektrums nicht mehr wahrzunehmen vermag, so werden für den Betreffenden die einzelnen Interferenzspektren schmäler, und es erreicht dann auch das dritte Spektrum nicht mehr das zweite. Dadurch entsteht auf jeder

Seite noch ein zweiter dunkler Streifen. Ist die Verkürzung eine noch erheblichere, so kann die Zahl dieser Streifen noch größer werden, und man kann daraus ungefähr einen Schluss auf den Grad der Verkürzung am einen oder anderen Ende des Spektrums ziehen. Eine Bestimmung darüber, welches Ende von der Verkürzung betroffen ist, oder ob diese sich auf beide Spektralenden bezieht, ist aber mit dieser Methode nicht möglich. Es kann auch schon eine geringgradige Verkürzung vorhanden sein, ohne dass mehr als der eine, auch vom Normalen gesehene, dunkle Zwischenraum für den Untersuchten vorhanden ist, weil sich das zweite und dritte Spektrum noch gerade mit ihren Enden berühren können.

Es ist deshalb empfehlenswerter, zur Feststellung einer eventuellen Verkürzung des einen oder anderen Spektralendes, sich eines Spektroskopes zu bedienen, welches gleichzeitig mit dem Spektrum im Gesichtsfelde des Apparates eine Skala sehen lässt, welche über oder unter dem Bande des Spektrums erscheint. Der Untersuchte hat nur anzugeben, bis zu welchem Skalenteile er noch eine Erhellung des Gesichtsfeldes wahrzunehmen vermag. Durch den Vergleich mit einem Normalen lässt sich dann eine annähernde Bestimmung des Grades der Verkürzung erreichen[1].

Der Rotgrünblinde der ersten Klasse wird stets eine nicht unerhebliche Verkürzung am langwelligen (roten) Ende des Spektrums besitzen, während sich dieselbe am kurzwelligen (violetten) Ende häufig für den Gelbblaublinden wird nachweisen lassen. Beide Spektralenden dagegen werden sich oft beim Totalfarbenblinden als verkürzt erweisen.

Hellste Stelle im Spektrum. Zur annähernden Bestimmung der Lage der hellsten Stelle im Spektrum kann man sich entweder ebenfalls eines größeren Spektroskopes mit sichtbarer Skala bedienen, oder auch eines kleinen Handspektroskopes mit gerader Durchsicht (à vision directe). Wenn man dasselbe gegen den Himmel richtet, so sind in dem Spektrum bei genügend verengtem Kollimatorspalt und hinreichender Intensität des Himmelslichtes die Fraunhofer'schen Linien sehr gut sichtbar und können bei intelligenten Patienten zur Verständigung über die Lage der hellsten Stelle des Spektrums benutzt werden. Während diese im Dispersionsspektrum in der Regel auch für den Partiellfarbenblinden, ebenso wie für den Normalen, im Grüngelb liegt, ist sie für den Totalfarbenblinden nach dem kurzwelligen Teile zu verschoben und befindet sich etwa in der Gegend der Fraunhoferschen Linien E und b.

Natürlich kann die Bestimmung in dieser Weise nur eine annähernde sein, während sie sich mittelst der im Gesichtsfelde eines größeren Spektroskopes

[1] Diese Untersuchung kann sehr erschwert sein, wenn das Spektrum sich nicht von absolut schwarzem Grunde abhebt, sondern das ganze Gesichtsfeld mehr oder minder durch sogenanntes falsches Licht erhellt wird.

sichtbaren Skala exakter wird ausführen lassen. Dieser Apparat ist auch zu verwenden, wenn es sich um die Ermittelung der sogenannten

Neutralen Stelle handelt. Durch einen vertikal stehenden engen Spalt, welcher sich im Okular in derjenigen Ebene befindet, in welcher das reelle Bild des Spektrums entworfen wird, schneidet man aus diesem einen schmalen Streifen aus, welcher ungefähr der Lage der zu untersuchenden neutralen Stelle entspricht[1]). Man lässt dann den Untersuchten in das Okular blicken und fragt ihn, ob ihm der Streifen noch bläulich oder gelblich (falls es sich um einen Rotgrünblinden handelt), bezw. grünlich oder rötlich (beim Gelbblaublinden) erscheine. Je nach der Aussage verschiebt man dann das Kollimatorrohr in der einen oder anderen Richtung, wodurch andere Teile des Spektrums vor den Spalt gebracht werden. In dieser Weise wird sich meist leicht die Lage der neutralen Stelle ermitteln lassen. Um ihren Ort in Wellenlängen anzugeben, bedarf es natürlich einer Aichung des Apparates mit Hilfe der Fraunhofer'schen Linien.

Sowohl die Verkürzung des Spektrums, wie die Lage der neutralen und der hellsten Stelle lassen sich am allerbequemsten dadurch bestimmen, dass man im Okulare des Spektroskopes in der Gegend, in welcher das Spektrum entworfen wird, einen Schieber anbringt, welcher in querer Richtung verschiebbar ist und einen ziemlich breiten Ausschnitt besitzt. Durch diesen ist ein großer Teil des Spektrums auf einmal sichtbar, und der Untersuchte kann dann einen kleinen Index, der oben oder unten ein wenig in den Ausschnitt vorspringt, auf die gewünschten Punkte einstellen. Dadurch wird es überflüssig, eine Skala im Gesichtsfelde sichtbar zu machen.

§ 126. Die Untersuchung auf Farbensinnstörungen bei Massenprüfungen ist prinzipiell genau dieselbe wie bei der Einzelprüfung, obgleich man der Zeitersparnis wegen sich häufig auf eine geringere Anzahl der Proben wird beschränken müssen. Doch muss man sich darüber klar sein, dass die Sicherheit, keinen Fall einer Farbensinnstörung zu übersehen, mit der Zahl der zur Verwendung gelangenden Methoden wächst. Man wird dem besonders dann Rechnung tragen müssen, wenn, wie bei der Untersuchung von Eisenbahnbeamten oder Marineangehörigen, das Durchschlüpfen eines Farbenblinden von verhängnisvollen Folgen begleitet sein kann.

Vor allem empfiehlt sich die Untersuchung nach der Seebeck-Holmgrenschen Wollprobe. Dabei ist ein möglichst reichhaltiges Sortiment zu verwenden und darauf zu achten, dass die einzelnen Wollbündel nicht zu schmutzig und abgegriffen sind. Man lässt am besten die oben angegebene Grün- und Purpurprobe ausführen. Abkürzungen dieser Methode sind nicht

---

1 In welcher Gegend des Spektrums dieselben für den Rotgrünblinden und Gelbblaublinden ungefähr liegen, ist oben, S. 396 f., angegeben.

zu empfehlen, weil dadurch die Sicherheit der Probe empfindlich leidet. Bei der Anstellung der Probe kann man die noch nicht Untersuchten zusehen lassen, wenn dadurch keine Störungen verursacht werden, um bei den später zu Untersuchenden die Prüfung zu beschleunigen[1]. Aus demselben Grunde ist es auch praktisch, wenn der Untersucher vor Beginn der Prüfung die Probe selbst einige Male ausführt, damit die zu Untersuchenden besser verstehen, worauf es ankommt.

Außer der Wollprobe wird man dann noch eine oder die andere der stabilen pseudoisochromatischen Proben zur Prüfung verwenden, z. B. die Stilling'schen und Nagel'schen Tafeln. Auch der Nagel'sche Apparat ist für Massenuntersuchungen empfohlen worden, doch werden mit ihm nur die Fälle von Rotgrünblindheit ermittelt werden können. Bei der Prüfung nach den letztgenannten Methoden ist die Anwesenheit der noch nicht Untersuchten im Untersuchungsraume natürlich nicht statthaft.

Jedenfalls ist es erforderlich, alle diejenigen Personen, welche bei irgend einer dieser Proben Fehler begangen haben und daher den Verdacht auf das Bestehen einer Farbensinnstörung rechtfertigen, noch genauer zu prüfen. Denn sonst setzt man sich der Gefahr aus, Farbentüchtige, deren Farbensinn nur eine praktisch bedeutungslose geringe Herabsetzung besitzt, zu Unrecht von bestimmten Berufszweigen auszuschließen.

Zu dieser genaueren Prüfung eignet sich ganz besonders der Hering-sche Apparat, mit dessen Hilfe sich in bestimmtester Weise wirkliche Farbenblindheit, wie auch Farbensinnschwäche diagnostizieren lassen.

§ 127. Simulation von Farbenblindheit kommt nur sehr selten vor und wird wohl noch seltener unentdeckt bleiben, wenn der Untersucher mit dem Sehen der Farbenblinden genügend vertraut ist; es sei denn, dass der Simulant besser mit den Verwechselungen, welche der Farbenblinde begeht, bekannt ist, als der untersuchende Arzt. Ein derartiger Fall wird aber praktisch kaum jemals vorkommen.

Der Simulant kann leicht mit einer der Stilling'schen Tafeln erkannt werden, welche gerade zu diesem Zwecke eingerichtet war, aber in der neuesten (zehnten) Ausgabe (346) fortgelassen ist. Auch das Pflüger'sche Florbuch eignet sich zur Entlarvung, denn wer vorgiebt, durch einen Flor auf den grünen und orangefarbigen Tafeln nichts erkennen zu können, ist der Simulation verdächtig, denn diese Tafeln werden auch vom Farbenblinden gelesen (vgl. aber oben S. 408). Auf diese beiden Methoden aber kann sich

1 Natürlich darf der untersuchende Arzt es sich in keiner Weise merken lassen, was er aus etwa begangenen Fehlern für Schlüsse zieht, weil sonst von den später Untersuchten Farbenblinden dieselben Verwechselungen vermieden werden würden.

der Simulant sehr wohl einüben, wenn er sich vor der Untersuchung bereits mit ihnen bekannt gemacht hat.

Er wird sich jedoch fast stets am Hering'schen Apparat verraten, denn es ist höchst unwahrscheinlich, dass der Simulant im stande ist, mehrere Male hintereinander in kurzen Zwischenpausen wieder genau dieselbe Gleichung einzustellen, was sich durch Ablesung der Plattenstellung von W_1 und W_2 (s. Fig. 167) an den Gradbogen J_1 und J_2 leicht kontrollieren lässt. Das Gedächtnis für eine bestimmte Farbennuance ist nämlich ein zu unvollkommenes, um mehrmalige, genau gleiche Einstellungen zu ermöglichen.

Der wirklich Farbenblinde wird dagegen immer wieder fast ganz genau dieselbe Gleichung einstellen, vorausgesetzt, dass die äußeren Bedingungen dieselben geblieben sind[1]).

Der Simulant wird außerdem nur selten (falls er Rotgrünblindheit simuliert) eine typische Gleichung eines Rotgrünblinden der ersten oder zweiten Klasse einstellen.

In zweifelhaften Fällen, bei denen es auf die Entdeckung etwa vorliegender Simulation wesentlich ankommt, wird der Betreffende einem Specialisten überwiesen werden müssen.

Dissimulation von Farbenblindheit kommt relativ viel häufiger vor als Simulation derselben. Aber auch hier wird es fast immer gelingen, den Dissimulanten zu entdecken. Denn wenn einzelne Methoden, insbesondere die stabilen pseudoisochromatischen Proben, auch eine Einübung von seiten des Farbenblinden gestatten, so kann doch selbst bei diesen durch eine Modifikation der Probe (z. B. veränderte Reihenfolge der Stilling'schen Tafeln) die Prüfung für den Dissimulanten wesentlich erschwert werden. Besonders eignet sich auch das Pflüger'sche Florbuch zur Aufdeckung von Dissimulation; doch ist zu bedenken, dass die Unmöglichkeit, einzelne Tafeln durch den Flor zu lesen, nicht unbedingt gerade auf Farbenblindheit zu beruhen braucht, sondern auch nur durch schwachen Farbensinn verursacht sein kann (vgl. oben S. 408).

Der Dissimulant wird sich aber in der Regel bei der Holmgren'schen Wollprobe verraten, wenn nur das zur Prüfung verwendete Sortiment reichhaltig genug ist, denn selbst von fachwissenschaftlich gebildeten und im Farbenunterscheiden sehr geübten Farbenblinden werden fast stets Fehler bei der Anstellung dieser Probe begangen.

Ist der Dissimulant sehr vorsichtig und will er keine einzige Wollprobe der vorgelegten ähnlich finden, so wird man ihn dadurch entlarven können, dass man einige Wollstränge unter die übrigen mischt, welche der vorgelegten Probe genau gleich sind (vgl. auch oben S. 402).

1) Dazu gehört auch eine unveränderte Stellung der unteren Milchglasplatte W.

In ähnlicher Weise wird sich der Dissimulant auch am Hering'schen Apparat verraten, wenn er eine auch für den Normalen gültige Gleichung durchaus nicht anerkennen will.

§ 128. Ist der untersuchende Arzt selbst farbenblind (rotgrünblind), so wird er in mancher Hinsicht bei der Prüfung Farbenblinder im Vorteil vor dem Farbentüchtigen sein. Denn er kann z. B. kontrollieren, falls der untersuchte Farbenblinde demselben Typus angehört wie er selbst, ob dieser die richtigen Gleichungen am Hering'schen Fenster oder Apparat einstellt. Ferner ist er in der Lage, sofort zu beurteilen, welche Tafeln in Pflüger's Florbuch der Farbenblinde nicht zu lesen im stande ist. Dasselbe gilt von den Stilling'schen und Nagel'schen Tafeln. Außerdem wird er durch Merkzeichen verschiedener Art sich die Erfüllung seiner Aufgabe ermöglichen. Er bedarf dazu nur einer zuverlässigen farbentüchtigen Person, welche ihm die erforderlichen Angaben bei den einzelnen Methoden ein- für allemal macht.

Bei der Wollprobe allerdings wird der farbenblinde Arzt mit kleinen, an den einzelnen Wollbündeln befestigten Marken nicht auskommen, weil die vorkommenden Verwechselungen zu verschiedenartig sind. Auch durch Benutzung eines roten und grünen Glases wird eine genügend sichere Kontrolle für ihn nicht zu erreichen sein. Außerdem würde das Verfahren dadurch zu kompliziert und die Dauer desselben zu sehr verlängert werden.

Bei Betrachtung eines rotgefärbten Gegenstandes durch ein rotes Glas erscheint bekanntlich dem Farbenblinden sowohl wie dem Farbentüchtigen derselbe im Vergleich mit anders gefärbten Objekten heller als mit freiem Auge, während er bei Anwendung eines grünen Glases dunkler wird. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn es sich um ein grüngefärbtes Objekt handelt: dieses erscheint durch das rote Glas dunkler, durch das grüne dagegen heller.

II. Quantitative Untersuchungsmethoden.

§ 129. Mit Hilfe der besprochenen qualitativen Untersuchungsmethoden ist man im stande, nicht nur eine bestehende Farbensinnstörung (sofern sie sich auch auf das Netzhautcentrum erstreckt) überhaupt zu diagnostizieren, sondern auch die wirkliche partielle oder totale Farbenblindheit von der bloßen Farbensinnschwäche zu unterscheiden. Es ist aber unmöglich, mit diesen Methoden genau festzustellen, wie groß die Herabsetzung des Farbensinnes bei vorhandener Farbensinnschwäche im einzelnen Falle ist, d. h. es ist nicht möglich, einen numerischen Ausdruck für die Größe der Störung zu finden, analog der numerischen Bestimmung der Sehschärfe. Es ist aber sehr wünschenswert, insbesondere in Fällen von erworbener Farbensinnschwäche, ein genaues Maß für den Grad der Herabsetzung des Farbenwahrnehmungsvermögens zu gewinnen, damit durch Vergleich der zu

verschiedenen Zeitpunkten gewonnenen Resultate die Möglichkeit gegeben ist, einen Schluss auf Fortschreiten oder Rückgang des zu Grunde liegenden Leidens zu machen. Aus diesem Grunde sind mehrere Methoden angegeben worden, welche eine genaue quantitative Bestimmung des Farbensinnes ermöglichen sollen. Sie sind im Prinzip sämtlich Schwellenbestimmungen, d. h. bei allen kommt es darauf an, den minimalen Reizwert des farbig wirkenden Lichtes zu eruieren, welcher genügt, um eine Farbenempfindung bei dem Untersuchten hervorzurufen.

Es ist aber auch für den geübten Beobachter außerordentlich schwer, den Moment genau zu bestimmen, in dem der allmählich zunehmende Reizwert einer farbig wirkenden Strahlung gerade genügt, um nicht mehr bloß eine farblose Empfindung, sondern eine farbige Empfindung hervorzurufen, d. h. die spezifische Schwelle zu bestimmen[1]. Außerdem aber wird in diesem Moment oft nicht die richtige Farbe erkannt, d. h. diejenige Farbe, welche bei wesentlich höherem Reizwerte entsteht. So wird Rot zuerst häufig als Gelb empfunden u. ähnl. Aus diesem Grunde haftet allen Bestimmungen der spezifischen Schwelle etwas Unsicheres an, welche Unsicherheit natürlich um so größer sein muss, je weniger geübt der Beobachter ist.

Von den Faktoren, welche am Eingang des Kapitels als bestimmend für die Farbenempfindung angegeben worden sind, gestatten einige eine willkürliche Änderung. Zur quantitativen Farbensinnprüfung sind die folgenden drei verwendet worden: die Größe des Netzhautbildes, sowie die Intensität und die objektive Sättigung des farbig wirkenden Lichtes. Dementsprechend lassen sich auch die betreffenden Methoden bezeichnen als Prüfung des Farbensinnes:

1. mit Hilfe des kleinsten Netzhautbildes,
2. mittelst der minimalen Intensität und
3. mittelst der minimalen objektiven Sättigung des farbig wirkenden Lichtes.

Den Resultaten, welche mit diesen Methoden gewonnen werden, kann aber stets nur eine beschränkte Bedeutung beigemessen werden. Denn wenn auch eine willkürliche Änderung der angegebenen Faktoren möglich ist, so sind andererseits die übrigen bei der Farbenperception maßgebenden Einflüsse, insbesondere diejenigen von seiten des Gesamtadaptationszustandes des Auges und der Beleuchtung des Beobachtungsraumes, derartigen unkontrollierbaren Schwankungen ausgesetzt, dass namentlich ein Vergleich zeitlich auseinanderliegender Beobachtungen nur sehr bedingt möglich ist. Einigermaßen lässt sich eine Vergleichbarkeit der Resultate nur dann erreichen, wenn stets ein normaler, farbentüchtiger Beobachter gleichzeitig

[1] Die Bestimmung desjenigen Reizwertes, der genügt, um überhaupt eine (meist farblose) Empfindung hervorzurufen, bezeichnet man als Ermittelung der absoluten Schwelle.

auch für sich die betreffende Schwellenbestimmung ausführt. Selbst dann aber ist zu bedenken, dass auch für Farbentüchtige erhebliche individuelle Verschiedenheiten der Hell-Dunkeladaptation vorkommen, welche naturgemäß auf die Farbenperception von Einfluss sein müssen.

Da es sich bei den drei zu besprechenden Methoden stets um einen anderen Faktor handelt, welcher variiert wird, so ist nicht unbedingt gesagt, dass in einem gegebenen Falle von Farbensinnschwäche die mit den drei Methoden gewonnenen Resultate alle genau miteinander übereinstimmen müssen.

1. Prüfung mittelst des kleinsten Netzhautbildes.

§ 130. Diese Methode beruht auf der Thatsache, dass farbige Objekte bei zunehmender Entfernung, also bei Abnahme der Größe ihres Netzhautbildes, allmählich ihre Farbe verlieren, so dass sie, ehe sie ganz unsichtbar werden, nur noch als farblose Flecken erscheinen[1]. Wenn der Farbentüchtige bei einer bestimmten Größe des Netzhautbildes eines gegebenen farbigen Testobjektes die Farbe desselben eben zu erkennen vermag, so wird der Farbensinnschwache dazu erst bei einem größeren Netzhautbilde im stande sein. Ob die Größe des Netzhautbildes durch die verschiedene Ausdehnung des Testobjektes von bestimmter Farbe oder durch einen verschiedenen Abstand des beobachtenden Auges vom Prüfungsobjekte verändert wird, ist gleichgültig, sofern die Netzhautbilder nicht allzu klein sind. Die Leistung des Farbensinnes ist dann entweder umgekehrt proportional der Fläche des farbigen Testobjektes zu setzen, oder sie ist direkt proportional dem Quadrate des Abstandes, in welchem der Untersuchte die Farbe noch zu erkennen vermag. Der numerische Ausdruck wäre im ersten Falle $F = \frac{1}{m^2}$, worin m^2 den Flächeninhalt des Testobjektes bezeichnet, im zweiten $F = D^2$, wenn D den Abstand des Untersuchten vom Testobjekt bedeutet. F ist dem Quadrate dieses Abstandes proportional, weil bei der Annäherung des Untersuchten auf die Hälfte des ursprünglichen Abstandes der Flächeninhalt des Netzhautbildes, auf den es bei der Farbenwahrnehmung ja ankommt, nicht um das Doppelte, sondern um das Vierfache zunimmt.

Für das Vermögen der Farbenwahrnehmung K eines untersuchten Farbensinnschwachen ist dementsprechend von Donders (34) die Formel $K = \frac{1}{m^2} \cdot \frac{d^2}{D^2}$ angegeben worden, in welcher m^2 die Größe der farbigen Fläche bedeutet, bei welcher das normale Auge im Abstande D die Farbe noch erkennt, während das farbenschwache Auge dazu erst in der Entfernung d im stande ist.

[1] Vorausgesetzt, dass die verwendeten Farben nicht zu sattfarbig sind.

Diese Methode, welche in der Mitte der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts bereits von Landolt (61, S. 569) benutzt worden ist, wurde dann von Donders (34), sowie von Weber (73) und Dor und Favre (51, 52) vorgeschlagen.

Alle diese Autoren bedienten sich meist farbiger Pigmentscheiben, welche entweder bei gegebener Größe in verschiedener Entfernung oder bei konstantem Abstande, aber wechselnder Größe der Scheiben, zur Untersuchung benutzt wurden. Der Grund, auf welchem die Scheiben dargeboten wurden, war farblos, meist schwarz.

Außer farbigen Pigmentscheiben hat man auch farbige Gläser zu dieser Prüfung verwendet, zum Teil unter Benutzung von Diaphragmen, welche ein größeres oder kleineres Flächenstück des durchleuchteten farbigen Glases freigeben. Hierher gehören der de Keersmaecker'sche Apparat (vgl. S. 396 u. a.), welche oben zur qualitativen Farbensinnprüfung als ungeeignet bezeichnet werden mussten, die aber zu dem vorliegenden Zwecke gute Dienste leisten können.

Da es außerordentlich schwer ist, aus oben zum Teil angegebenen Gründen, konstante Versuchsbedingungen herbeizuführen, hat Weber (73) vorgeschlagen, die Untersuchung bei so weit herabgesetzter Beleuchtung des Beobachtungsraumes vorzunehmen, dass es dem normalen Auge eben noch möglich ist, einen bestimmten Buchstaben der Snellen'schen Tafel zu lesen, wenn ein gegebenes Rauchglas benutzt wird. Da diese Möglichkeit aber durch die verschiedene Ausgiebigkeit des Adaptationsvermögens verschiedener Individuen natürlich innerhalb weiter Grenzen liegen wird, ist der Wert dieser Vornahme sehr zweifelhaft.

Bei der Prüfung nach der besprochenen Methode hat man vor allem auf folgende Punkte zu achten:

Refraktionsanomalien sind stets zu korrigieren[1]) (vgl. oben S. 393). Stets ist nur eine farbige Scheibe zur Zeit sichtbar zu machen, die übrigen etwa auf der Tafel befindlichen sind zu verdecken. Die Farbe des verdeckenden Diaphragma muss dieselbe wie diejenige des Grundes sein, auf welchem die farbigen Scheiben befestigt sind.

Von großer Bedeutung ist wegen der Lichtinduktion, ob der Grund schwarz, weiß oder grau ist. Das Nötige ist darüber oben S. 393 gesagt. Zu berücksichtigen ist auch, dass der Helligkeitsunterschied zwischen Grund und farbiger Scheibe für die Wahrnehmung der letzteren überhaupt von großem Einfluss ist[2]).

1) Man vergleiche aber die hier nicht näher zu besprechenden Untersuchungen von Wolffberg (244, 286, 287), Boehm (245) und Seggel (258).

2) Der Lichtsinn, der hierbei mit in Frage kommt, spielt bei dieser Art der Prüfung überall mit und trübt dadurch natürlich die Reinlichkeit der Resultate.

In hohem Maße kommt es natürlich auf die objektive Sättigung der verwendeten Pigmentscheiben an (vgl. darüber unten S. 431 ff.), deren viele außerdem leicht ausbleichen, wodurch bei zeitlich auseinanderliegenden Beobachtungen falsche Schlüsse gezogen werden können.

Vor lokaler Adaptation ist das zu untersuchende Auge nach Möglichkeit zu bewahren (vgl. oben S. 392).

2. Prüfung mittelst der minimalen Intensität des farbig wirkenden Lichtes.

§ 131. In der Ermittelung der minimalen Intensität des farbig wirkenden Lichtes, welche erforderlich ist, um entweder überhaupt eine farblose Lichtempfindung (absolute Schwelle) oder eine Lichtempfindung zu erzielen, bei welcher auch die Farbe erkannt wird (spezifische Schwelle), kann ein Maß gegeben sein für die Empfindlichkeit des Auges gegenüber qualitativ verschiedenen Strahlungen. Hier kommt es vor allem auf die Bestimmung der spezifischen Schwelle an, welche aber aus den oben (S. 426) angegebenen Gründen stets nur sehr schwer zu ermitteln ist. Zudem macht sich auch hier ein eventueller Wechsel des Adaptationszustandes in hohem Maße geltend und wird das Resultat der Prüfung in dem oben S. 391 angegebenen Sinne oft in erheblicher Weise beeinflussen.

Am einfachsten ist die Untersuchung bei Verwendung von Pigmentpapieren. Lässt man nämlich einen Sektor aus farbigem Papier vor lichtlosem Grunde rotieren, so ist es möglich, durch Variierung der Größe des Sektors alle möglichen Intensitätsstufen des betreffenden farbig wirkenden Lichtes zu erhalten.

Praktische Anwendung hat die Methode in LANDOLT's Chromatometer (61) gefunden.

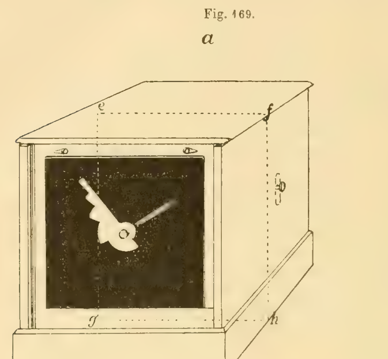
Dieser Apparat besteht aus einem schwarzen Kasten (Fig. 169) von ungefähr 23 cm Höhe. Er zerfällt in zwei, durch eine vertikale Wand (*fgh* Fig. 169a) voneinander getrennte Abteilungen. Die hintere enthält ein Uhrwerk, das eine in die vordere Abteilung hineinragende Achse in rasche Rotation versetzt.

Die vordere Abteilung ist mit schwarzem Sammet ausgekleidet. Das Uhrwerk wird an der hinteren Seite des Kastens aufgezogen. An einer Seite desselben befindet sich ein Drücker, mit dessen Hilfe die Rotation momentan eingestellt oder freigegeben werden kann.

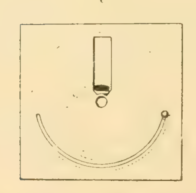
Würde man an die Achse einen Pfeil aus farbigem Karton von der Form der Fig. 169b anschrauben und vor dem schwarzen Grunde rotieren lassen, so würde nach der Peripherie zu eine kontinuierliche Abnahme der Intensität des farbig wirkenden Lichtes gegeben sein, und dem Beobachter böte sich der Anblick einer farbigen Scheibe, deren Sättigung infolge der Verhüllung mit Schwarz nach der Peripherie zu immer geringer würde.

Um jedoch eine bestimmte Zahl genau definierter Nuancen der Farbe zu erhalten, hat LANDOLT dem Karton die in Fig. 169a dargestellte Form gegeben. Wie man sieht, besteht er aus 5 Ringsektoren, von denen der centralste 180°, der folgende 90°, der dritte 45°, der vierte 22,5°, der äußerste 11,25° misst. Bei der Rotation entstehen also 5 Ringe, deren Lichtintensitäten sich verhalten wie $^1/_2 : ^1/_4 : ^1/_8 : ^1/_{16} : ^1/_{32}$.

Fig. 169.







Um diese Ringe nicht alle gleichzeitig und von jedem nur ein Stück von bestimmter Größe zur Beobachtung zu bringen, wird die Öffnung des Kastens durch ein schwarzes Doppeldiaphragma (Fig. 169c) verschlossen. Das vordere Diaphragma besitzt eine größere rechteckige Öffnung, das hintere, um den Mittelpunkt drehbare, enthält 5 kleinere, den Ringen entsprechende Ausschnitte von gleichem Flächeninhalte. Durch entsprechende Einstellung des hinteren Diaphragma ist es ermöglicht, jeweils nur einen einzigen dieser Ausschnitte frei zu geben und dementsprechend dem Untersuchten nur je eine Nuance der Farbe darzubieten. Man beginnt dabei natürlich mit dem äußersten

Ringe, welcher der geringsten Intensität des farbig wirkenden Lichtes entspricht.

Selbstverständlich lässt sich jede gewünschte Nuance mit demselben Apparate herstellen; man braucht nur die Form des Sektors entsprechend zu modifizieren.

Da der Apparat sehr handlich ist, kann er zur Änderung der Beleuchtungsintensität der Lichtquelle leicht in erforderlicher Weise genähert oder von ihr entfernt werden.

Statt des Landolt'schen Apparates kann man sich in derselben Weise jedes beliebigen Farbenkreisels bedienen, sofern man nur über eine Röhre zur Erzeugung lichtlosen Grundes verfügt.

Für konstante Versuchsbedingungen ist nach Möglichkeit zu sorgen; Kontrollbeobachtung durch einen Normalen ist selbstverständlich auch hier erforderlich.

3. Prüfung mittelst der minimalen objektiven Sättigung.

§ 132. Bei der besprochenen Methode der Intensitätsänderung des farbig wirkenden Lichtes findet eine subjektiv bedingte Änderung der Sättigung der betreffenden Farbenempfindung insofern statt, als dieselbe bei abnehmender Intensität immer schwärzlicher erscheint (vgl. S. 393).

Es lässt sich aber auch die objektive Sättigung (vgl. S. 393) des farbig wirkenden Lichtes dadurch variieren, dass man demselben in beliebigem Verhältnis farblos wirkendes Licht zusetzt. Die minimale objektive Sättigung, welche noch gerade hinreicht, um die Erkennung der Farbe zu ermöglichen, kann dann als Maß für die Farbenempfindlichkeit des untersuchten Auges dienen.

Am einfachsten ist das Verfahren bei Benutzung von Pigmenten. Wenn man z. B. auf dem Farbenkreisel eine graue Scheibe rotieren lässt, bei welcher ein Sektor durch ein farbiges Papier ersetzt ist, so kann durch Änderung der Größe desselben jede beliebige objektive Sättigungsstufe zwischen der Weißvalenz des grauen und der farbigen Valenz des anderen Papieres erhalten werden. Statt sich, wie in diesem Falle, der intermittierenden Netzhautreizung zur Mischung der beiden Strahlungen zu bedienen, kann man auch gleich die entsprechenden Pigmente mischen und auf diese Weise von einer bestimmten Farbe jeden beliebigen Grad der objektiven Sättigung erhalten.

Die Prüfung mittelst dieser Methode lässt freilich keine numerische Bestimmung der Farbensinnleistung in dem Sinne zu, dass man diese umgekehrt proportional dem Zusatz an Farbe annimmt, welcher zum Erkennen derselben gerade erforderlich ist. Man darf z. B. nicht eine Herabsetzung des Farbensinnes auf die Hälfte annehmen, wenn dieser Zusatz für den untersuchten Farbensinnschwachen doppelt so groß sein muss, wie für den

Normalen, denn die subjektive Sättigung der Farbe geht ihrer objektiven Sättigung durchaus nicht parallel. Natürlich kann man den zur Farbenerkennung erforderlichen Zusatz an Farbe zur Messung benutzen; man muss sich aber darüber klar sein, dass damit nur ein mehr oder weniger willkürliches, also rein konventionelles Maß gegeben ist[1]).

Gemäß dem oben Gesagten können wir bei der Prüfung mittelst der minimalen Sättigung zwei Methoden unterscheiden. Bei der ersten werden dem Untersuchten auf einer Tafel verschiedene Sättigungsgrade der Hauptfarben dargeboten: es handelt sich also um fixe Farbennuancen; bei der zweiten Methode aber bedient man sich mit Hilfe des Farbenkreisels der intermittierenden Netzhautreizung zur Herstellung der verschiedenen objektiven Grade der Sättigung.

Der ersten Methode gehören die chromatoptometrische Tabelle von Ole Bull (185) und die Sättigungstafel von Kolbe (164) an.

Auf der Ole Bull'schen Tafel sind graue und farbige Quadrate von 1 cm Seite auf schwarzem Grunde angebracht. Die farbigen Felder sind reihenweise von verschiedener Sättigung. Ihre Nuance ist durch Versuche am Farbenkreisel bestimmt worden, und zwar wurden dabei der Reihe nach einer grauen Scheibe 20°, 30°, 40°, 60°, 80°, 120°, 150°, 220°, 280°, 360° Farbe zugesetzt. Die bei der Rotation entstehende Schattierung ist dann nachgemalt und technisch vervielfältigt worden. Aus Ziffern, welche bei den einzelnen Reihen angegeben sind, lässt sich die ursprüngliche Zusammensetzung der Kreiselscheibe ersehen.

Bei der Verwendung der Tafel stellt man — am besten unter Zuhilfenahme eines Diaphragma — fest, bei welchem Sättigungsgrade der verschiedenen Hauptfarben der Untersuchte in gegebener Entfernung 1 m noch im stande ist, Farbe wahrzunehmen.

Dadurch, dass nach Möglichkeit für gleiche Helligkeit der einzelnen Felder gesorgt ist, soll bei der Prüfung einer, wenn auch unbewussten, Unterstützung des Urteiles durch die verschiedene Helligkeit der Farben vorgebeugt werden. Freilich wird das wegen der vorkommenden individuellen Verschiedenheiten (Pigmentierung) und bei verschiedenem Adaptationszustande (Purkinje'sches Phänomen, s. oben S. 391) nicht immer der Fall sein können.

Auf der Kolbe'schen Sättigungstafel finden sich die verschiedenen Sättigungsstufen der Hauptfarben nicht diskret in einzelnen Quadraten wiedergegeben, sondern für jede Farbe ist ein Streifen von 15 mm Breite und 200 mm Länge vorhanden, welcher einen kontinuierlichen Übergang von maximaler Sättigung der Farbe bis zu reinem Grau zeigt. Dem Untersuchten

1) Genau das Entsprechende gilt von der im vorigen Paragraphen besprochenen Landolt'schen Methode.

wird durch ein Diaphragma nur ein kleines Stück eines solchen Streifens sichtbar gemacht, welcher, mit dem grauen Ende beginnend, allmählich hinter dem Diaphragma vorüberbewegt wird. Dadurch lässt sich der Moment bestimmen, in dem die objektive Sättigung groß genug geworden ist, um dem Patienten die Erkennung der Farbe zu ermöglichen.

Die Verwendung des Farbenkreisels zu dem in Rede stehenden Zwecke hat zuerst Landolt (26) vorgeschlagen. Er benutzte eine weiße Scheibe, der ein Ringsektor eines farbigen Papieres zugesetzt wurde. Durch die Größe des zur Farbenerkennung erforderlichen Sektors ließ sich beim Vergleich mit einem Normalen ungefähr eine quantitative Bestimmung der Leistung des Farbensinnes machen. Weil aber hierbei die Helligkeitsdifferenz zwischen dem Weiß der Scheibe und der Farbe des bei der Rotation entstehenden Ringes sich störend geltend machen kann, sind später graue Scheiben benutzt worden, welche genau gleiche Helligkeit mit dem zur Untersuchung verwendeten farbigen Pigmentpapier haben sollten.

Zur Vereinfachung der Methode sind dann von Pflüger (210) und Miéville (222) auf derselben grauen, dem farbigen Pigment gleich hellen Scheibe in verschiedenem Abstande von ihrem Centrum gleichzeitig mehrere farbige Ringsektoren von verschiedener Größe angebracht worden. Bei der Rotation entsteht eine Anzahl von Ringen, welche nur durch ihre vom Grunde verschiedene Farbe erkennbar sein sollen, da ja die Helligkeit der grauen Scheibe und des farbigen Papieres dieselbe sein soll. Der Untersuchte hätte dann nur die Anzahl der für ihn sichtbaren Ringe anzugeben. Damit würde sich die Methode der von Helmholtz zur Prüfung des Lichtsinnes angegebenen anschließen.

Es ist nun aber durchaus nicht leicht, ein graues Papier zu finden oder auch nur ein Grau auf dem Farbenkreisel aus Schwarz und Weiß zu mischen, welches wirklich genau dieselbe Helligkeit besitzt, wie ein gegebenes farbiges Papier, so dass schon aus diesem Grunde namentlich die Pflüger-Miéville'sche Modifikation der Methode nur mit gewisser Einschränkung zu verwenden ist. Dazu kommt der Einfluss des Purkinje'schen Phänomens, welches sich bei Wechsel des Adaptationszustandes bemerklich machen wird. Daher wird eine unterstützende Mitwirkung des Lichtsinnes sich bei dieser Methode wohl niemals beseitigen lassen, weil es eben ganz unmöglich ist, ein dem benutzten farbigen Papiere unter allen Umständen und für alle Personen gleich helles graues Papier zu finden.

Litteratur zu Abschnitt VI.

1829. 1. Plateau, Dissert. sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de la vue. Lüttich.

1832. 2. Osann, Vorrichtung zur Hervorbringung komplementärer Farben und Nachweis ihrer objektiven Natur. Pogg. Ann. XXVII. S. 287 u. 694; XLII. S. 72.

1837. 3. Seebeck, Über den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn. Pogg. Ann. XLII. S. 177—233.

1838. 4. Volkmann in J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 373.

1846. 5. Volkmann, Art. Sehen in Wagner's Handwörterbuch der Physiol. III. S. 272.

1847. 6. Dove, Über die Methoden, aus Komplementärfarben Weiß darzustellen, und über die Erscheinungen, welche polarisiertes Licht zeigt, dessen Polarisationsebene gedreht wird. Berliner Monatsbl. S. 70. 1846; Pogg. Ann. LXXI. S. 97; Phil. Mag. XXX. S. 465; Inst. No. 712. S. 176; Arch. des Sc. ph. et nat. V. S. 276.

1853. 7. Holtzmann, Apparat zur Darstellung von Farbenmischungen. Tagebl. der deutschen Naturforschervers.

1855. 8. Maxwell, J. C., Experiments on colour, perceived by the eye, with remarks on colour blindness. Edinb. Transact. XXI. S. 275—297; Edinb. Journ. (2). I. S. 359—360; Proc. of Edinb. Soc. III. S. 299—301; Phil. Mag. (4). XIV. S. 40.

9. Meyer, H., Über Kontrast- und Komplementärfarben. Pogg. Ann. XCV. S. 170; Ann. de Chim. (3). XLV. S. 507; Phil. Mag. (4). IX. S. 547.

1857. 10. Dove, H. W., Eine Methode, Interferenz- und Absorptionsfarben zu mischen. Berliner Monatsbl. 11. März 1857; Pogg. Ann. CII.

1861. 11. Rose, E., Über stehende Farbentäuschungen. Arch. f. Ophth. VII, 2. S. 72—108.

1864. 12. v. Wittich, Über die geringsten Ausdehnungen, welche man farbigen Objekten geben kann, um sie noch in ihrer spezifischen Farbe wahrzunehmen. Königsberger med. Jahrb. IV. S. 23.

1865. 13. Rose, E., Über die einfachsten Untersuchungsmethoden Farbenkranker. Berliner klin. Wochenschr. No. 31. S. 7.

1870. 14. Ketteler, E., Analytisch-synthetischer Mischfarbenapparat. Pogg. Ann. CXLI. S. 604—607.

15. Woinow, M., Zur Farbenempfindung. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 212.

16. Woinow, M., Zur Frage über die Intensität der Farben. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 251.

1871. 17. Lamansky, S., Über die Grenzen der Empfindlichkeit des Auges für Spektralfarben. Arch. f. Ophth. XVII, 1. S. 123.

18. Noyes, Henry D., An apparatus for testing the perception of colour. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 118—120.

19. Woinow, M., Zur Diagnose der Farbenblindheit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 241—248.

1872. 20. Dobrowolsky, W., Über Empfindlichkeit des Auges gegen verschiedene Spektralfarben. Arch. f. Ophth. XVIII, 1. S. 66—74.

1873. 21. Schön, W., Über die Grenzen der Farbenempfindung in pathologischen Fällen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 171.

1874. 22. Blaschko, Der Daltonismus beim Eisenbahnpersonal. Vierteljahrsschrift f. gerichtl. Med. S. 74.

23. Favre, A., Recherches cliniques sur le daltonisme. Lyon méd. No. 22.

24. Holmgren, Fr., Über die Diagnostik und Theorie der angeborenen Farbenblindheit. (Schwedisch.) Nordisk. med. Arch. VI. No. 24 u. 28.

25. Snellen, H., und E. Landolt, Die Funktionsprüfungen des Auges. Handbuch d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. III, 1.

1875. 26. Landolt, E., Procédé pour déterminer la perception des couleurs. Ann. d'Ocul. LXXIV. S. 74—75.

27. Mol, Onderzoek op Kleurblindheid. Weekblad van het Nederl. Tijdschr. voor Geneesk. No. 7. S. 89—93.

28. Morton, H., Ein neues Chromatrop. Pogg. Ann. CLVII. S. 150—155.

29. Stilling, J., Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. Stuttgart. Zwei ausserord. Beilageh. zu d. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIII.

30. Weber, A., Über Farbenprüfung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIII. S. 486—488.

1876. 31. v. Bezold, W., Eine neue Methode der Farbenmischung. Sitzungsberichte d. Münchener Akad. 4. März.

32. v. Bezold, W., Der Farbenmischer. Catalogue of the Spec. Loan. Coll. of Sc. Apparatus. London. I. S. 139. No. 972.

33. Holmgren, Om färgblindheten i dess förhållande till jarnvägstrafiken. Upsala läkaref. Förhandl. XII.

1877. 34. Donders, F. C., Die quantitative Bestimmung des Farbenunterscheidungsvermögens. Arch. f. Ophth. XXIII, 4. S. 282—291; und Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 182.

35. Holmgren, Fr., De la cécité des couleurs dans ses rapports avec les chemins de fer et la marine. Stockholm. 144 S.

36. Rosenstiehl, De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations colorées. Compt. rend. LXXXIV. S. 1133—1136.

37. Stilling, J., Methoden zur Prüfung des Farbensinnes. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 168.

38. Stilling, J., Über Prüfung des Farbensinnes. Beilage z. Septemberheft d. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 28.

39. Stilling, J., Die Prüfung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Marinepersonal. 3 Farbentafeln. Kassel. (Vgl. auch No. 346.)

1878. 40. Cohn, H., Der Simultankontrast zur Diagnose der Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Februar.

41. Cohn, H., Gestickte Buchstaben zur Diagnose der Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April.

42. Cohn, H., Über die spektroskopische Untersuchung Farbenblinder. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. November.

43. Cohn, H., Bemerkung zu der Berichtigung des Herrn Dr. Magnus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dezember.

44. Cohn, H., Über Beobachtungen an 100 Farbenblinden. 51. Versammlung deutscher Naturf. u. Ärzte zu Kassel. Sektion f. Ophth. und Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 110.

45. Daae, A., Farbenblindheit und Entdeckung von Farbenblinden. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Januar.

46. Daae, A., Die Farbenblindheit und deren Erkennung. Übersetzt von Dr. M. Sänger. Berlin. 9 S.

47. Daae, A., Lidt om Undersögelse af Farvesandsen. Anleitung zur Untersuchung Farbenblinder.) Norsk. Mag. f. Lägevid. 3 R. VII. S. 450 bis 455. VIII. S. 81.

48. Donders, F. C., La détermination numérique du pouvoir de distinguer les couleurs. Ann. d'Ocul. LXXIX. S. 275 und Arch. Neerland. d. Sc. exp. XIII. S. 91.

49. Donders, F. C., Over dichromatische stelsels. Kon. Acad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. 2 S. (Nicht zugänglich.)

50. Dor, H., Echelle pour mesurer l'acuité de la vision chromatique. Basel-Lyon. 16 S. mit 6 Farbentafeln.

51. Dor, H., Skala zur quantitativen Bestimmung des Farbensinnes. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 188.

1878. 52. Dor, H., et Favre, Nouvelles recherches sur la détermination quantitative de la vision chromatique. Soc. nat. de Méd. de Lyon. März.

53. Hirrlinger, J., Prüfungs- und Übungstafeln zur Untersuchung des Farbensinnes. Stuttgart.

54. Hirschberg, J., Doppelspektroskop zur Analyse der Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Oktober.

55. Holmgren, F., Om de färgede skuggorne og färgblindheten. Upsala läkaref. Förhandl. XIII, 6—7. S. 456. (Eigenes Referat im Centralbl. f. prakt. Augenheilk. September.)

56. Holmgren, F., Om nogra nyore praktiska metoder att uptäcka färgblindhet. Upsala läkaref. Förhandl. XIII, 3. S. 193.

57. Holmgren, F., An die Ärzte Schwedens betreffs der Farbenblindheit. Upsala läkaref. Förhandl. XIV. S. 60—72.

58. Holmgren, F., Zur Entdeckung der Farbenblindheit bei Massenuntersuchungen. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. August. S. 179.

59. Holmgren, F., Über die Farbenblindheit in Schweden. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. September.

60. Holmgren, F., Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und der Marine. Deutsche autorisierte Übersetzung. Leipzig.

61. Landolt, E., Chromatometer. de Wecker et Landolt, Traité complet d'Opht. I. S. 633 und Korrespondenzblatt f. Schweizer Ärzte. No. 22.

62. Lederer, Farbenblindheit und mangelnder Farbensinn, mit Rücksicht auf den Signaldienst der Eisenbahnen und der Marine. Wiener med. Wochenschr. No. 2, 3 u. 4.

63. Magnus, H., Zur spektroskopischen Untersuchung Farbenblinder. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April u. Oktober.

64. Magnus, H., Bemerkungen über die Untersuchung und Erziehung des Farbensinnes. Deutsche med. Wochenschr. No. 47.

65. Michel, J., Die Prüfung des Sehvermögens und der Farbenblindheit beim Eisenbahnpersonal und den Truppen. Bayr. ärztl. Intelligenzbl. und separat. München. 11 S.

66. Pflüger, Über Prüfung des Farbensinnes. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. März.

67. Radde, O., Internationale Farbenskala. Hamburg-Paris.

68. Rosenstiehl, De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations colorées. Compt. rend. LXXXVI. S. 343.

69. Stilling, J., Farbige Schatten bei Tageslicht. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juni.

70. Stilling, J., Tafeln zur Bestimmung der Rot-Grünblindheit. Kassel.

71. Stilling, J., Tafeln zur Bestimmung der Blau-Gelbblindheit. Kassel.

72. Stilling, J., Die Prüfung des Farbensinnes bei Eisenbahn- und Marinepersonal. Neue Folge. 2. Lief. Kassel.

73. Weber, A., Über Prüfung des Farbensinnes. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 130.

74. Landolt, E., de Wecker et Landolt, Kapitel Chromatoptometrie in Traité complet d'Opht. I.

1879. 75. Aneshäusel, Zur Erkennung der Farbenblindheit. Ärztl. Mitt. aus Baden. XXXIII, 11.

76. Becker, O., Ein Fall von angeborener einseitiger totaler Farbenblindheit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXV, 2. S. 205.

77. Berry, G. A., Remarks on the examination and classification of cases of Colour-Blindness. Edinb. med. Journ. XXV. S. 305.

78. Brabock, E., Echelle de couleurs publiée par la Soc. sténochromique de Paris. Anthrop. Inst. London. IX. S. 19—22.

79. Cohn, H., Studien über angeborene Farbenblindheit. Breslau, E. Morgenstern.

1879. 80. Cohn, H., Quantitative Farbensinnbestimmungen. Arch. f. Augenheilk. IX. S. 84.

81. Cohn, H., Über quantitative Farbensinnbestimmungen bei Europäern und Nubiern. Jahresbericht d. schlesischen Ges. S. 63.

82. Cohn, H., Vergleichende Messungen der Sehschärfe und des Farbensinnes bei Tages-, Gas- und elektrischem Licht. Arch. f. Augenheilk. VIII. S. 408.

83. Cohn, H., New investigations on the farthest limits of colour-perception by direct sun-light and by electric light. Brit. med. Journ. Oktober. S. 531.

84. Cohn, H., Einige Bemerkungen über Herrn Dr. Magnus' Aufsatz über Farbenblindheit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXV, 1. S. 341.

85. Cohn, H., Die Arbeiten des Herrn Prof. Holmgren über Farbenblindheit und seine Kampfesweise. Breslau. 31 S.

86. Coursserant, H., Sur l'emploi méthodique des verres de couleurs dans l'achromatopsie. Acad. des Sc. 21. April. Gaz. méd. No. 19.

87. Daae, A., Pseudo-isochromatische Proben zur Untersuchung des Farbensinnes. Norsk. Mag. 3. R. IX. 10. Forh.

88. Daae, A., Die Farbenblindheit und deren Erkennung. Deutsch von M. Sänger. Berlin, Dörffel und Hirschwald.

89. Daae, A., Über Farbenblindheit. Deutsche med. Wochenschr. Feuilleton. S. 1.

90. Donders, F. C., Über pseudo-isochromatische Muster zur Prüfung der Farbenblindheit. Sitzungsberichte d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 171.

91. Hirschberg, Über eine Modifikation des Spektroskopes zur Prüfung der Farbenblinden. Verhandl. d. Berliner physiol. Ges. 17. Januar; Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abt. S. 169; Deutsche med. Wochenschr. No. 37; Arch. f. Augenheilk. IX. S. 116.

92. Hirschberg, Das Doppelspektroskop zur Analyse der Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. III. S. 55—56.

93. Holmgren, Die Arbeiten des Herrn Prof. Cohn über Farbenblindheit. Sep.-Abdr. aus Upsala läkaref. Förh. Upsala. 62 S.

94. Holmgren, Color-blindness in its relation to accidents by rail and sea. Translated for the Smithsonian Institution by Duncan. Smithsonian Rep. for 1877. S. 129.

95. Holmgren, Apparat för diagnos af färgblindhetens arter. Upsala läkaref. Förh. XIV. S. 97.

96. Holmgren, Meddelande om spektroskopiska undersökningar af färgsinnet. Upsala läkaref. Förh. XIV. S. 307.

97. Jeffries, B. J., Color-blindness: its dangers and its detection. Boston. Houghton, Osgood & Co. 312 S.

98. Kalischer, L., Die Farbenblindheit. Eine allgemein verständliche Darstellung ihrer Bedeutung, der Theorien ihres Vorkommens und der Prüfungsmethoden. Berlin. 72 S.

99. Magnus, H., Antwort auf die Arbeit des Herrn Prof. Cohn: »Einige Bemerkungen über Herrn Dr. Magnus' Aufsatz über Farbenblindheit«. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXV, 2. S. 280.

100. Magnus, H., H. Cohn und Jacobi, Über die Farbenblindheit und die demnächst in hiesigen Schulen auszuführenden Untersuchungen der Schüler auf Farbenblindheit. Jahresbericht d. schles. Ges. f. vaterl. Kultur für 1878. S. 322.

101. Magnus, H., und Pechuël-Loesche, Fragebogen zur Ausfüllung behufs Lösung des Problems: bis zu welchem Grade die Naturvölker die Farben empfinden und durch Benennung unterscheiden, wie die Culturvölker. Mit einer Farbenskala. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XVI. S. 375.

1879. 102. Mauthner, L., Vorträge auf dem Gesammtgebiete der Augenheilkunde. 4. Heft. Prüfung des Farbensinnes. Wiesbaden, Bergmann.

103. Moeller, Du daltonisme au point de vue théorique et pratique. Etude critique des méthodes d'exploration du sens chromatique. Bruxelles, Manceaux. 146 S.

104. Moeller, Etude critique des méthodes d'exploration pour les recherches des daltoniens dans le personel des chemins de fer. Bull. de l'Acad. de Belg. XIII, 2. S. 283—330.

105. Nikitin, Zur Frage der quantitativen Bestimmung des Farbensinnes. Inaug.-Diss. Petersburg.

106. Page, H. W., On colour-blindness, its examination and prevalence. Brit. med. Journ. Oktober.

107. Pflüger, Methoden zur Untersuchung der Farbenblindheit. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. IX. Sep.-Abdr. 8 S.

108. v. Reuss, A., Über Farbenblindheit. Wiener Klinik. V, 3. S. 65.

109. Stilling, J., Tafeln zur Bestimmung der herabgesetzten Farbenempfindlichkeit für Roth-grün, sowie zur Entdeckung der Simulation der Farbenblindheit. Leipzig.

110. Swanzy, H. R., On examination for colour-blindness. Brit. med. Journ. II. S. 531.

111. Talko, Über das Untersuchen der Farbenblinden an den Eisenbahnen. Medycyna. Sowrennaja Med. No. 11 u. 12.

1880. 112. Austin, H. W., The color-blind and colored signals. New Orleans med. et surg. Journ. VIII. S. 324.

113. Cohn, H., Quantitative Farbenbestimmungen. Arch. f. Augenheilk. IX. S. 84.

114. Daae, Pseudo-isochromatische Proben zur Untersuchung des Farbensinnes. Norsk. Mag. 3. IX. 10. Forh.

115. Favre, H., Recherches cliniques sur le daltonisme; la dyschromatopsie dans ses rapports avec la médecine publique. Gaz. hébd. S. 547.

116. Galezowski, Mesure de la puissance chromatique de l'oeil; chromatoscope. Gaz. méd. de Paris. No. 26. S. 340; Gaz. hébd. No. 26. S. 420.

117. Galezowski, Chromatoscope et carnet portatif pour mesurer l'acuité visuelle et la faculté chromatique. Soc. de Biol. 12. Juni. Gaz. méd. de Paris. No. 26.

118. Grossmann, M., Über die Messung der Schärfe des Farbensinnes. Inaug.-Diss. Greifswald. 39 S. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. IV. S. 298.

119. Head, J. F., Testes for color-blindness. Med. Rec. New York. XVII. S. 496.

120. v. Hippel, A., Ein Fall von einseitiger, kongenitaler Rotgrünblindheit bei normalem Farbensinn des anderen Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVI, 2. S. 176.

121. Jeffries, Die verschiedenen Prüfungsmethoden auf Farbenblindheit. Bericht von Knapp im Arch. f. Augenheilk. X. S. 104.

122. Jeffries, Prüfung auf Farbenblindheit. Bericht von Burnett im Arch. f. Augenheilk. X. S. 209.

123. Jeffries, Color-blindness; its examination and prevalence. Lancet. II. S. 7.

124. de Keersmaecker, Examen de la vision chez les employés de chemin de fer. Rec. d'Opht. S. 705.

125. Little, H. S., The results of a test for color-blindness at Girard college. Philadelphia med. Times. XI. S. 12.

126. Magnus, Examination of colour-blindness. Boston. Med. and Surg. Journ. CII 5. S. 117.

1880. 127. Maréchal, Appareil pour la détermination de l'acuité visuelle et de la vision des couleurs. Congrès internat. d'Opht. Milan. Compt. rend. 1881. S. 244.

128. Maréchal, Laterne zur Prüfung auf Farbenblindheit. In Renard s. 131.

129. Pflüger, E., Tafeln zur Bestimmung der Farbenblindheit. Bern. Mit 11 farb. Tafeln.

130. Pflüger, E., Chromatoptometer. Ann. di Ottalm. IX. S. 397.

131. Renard, Examen de la vision chez les employés de chemin de fer, rapport présenté à M. le ministre des travaux publics. Lauréat de l'institut. Paris. S. 72.

132. Ricchi, Über Farbensinnprüfung. 6. internat. ophth. Kongress. Mailand. Compt. rend. 1881. S. 217.

133. Thomson, W., An instrument for the detection of color-blindness. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 142.

134. Thomson, Philadelphia med. News. XXXVIII. S. 12.

135. Wolfe, J. R., Control of color-blindness. Boston evening transcript. No. 16.

136. Wood, Ophthalmic test-types and color-blindness tests. New York.

1881. 137. Badal, Echiquier pour l'examen de la vision des couleurs. Le Sud-Ouest méd. Januar.

138. Bull, Ole, A new method of examining and numerically expressing the colour perception. Transact. of the internat. med. Congr. London. III. S. 49.

139. Bull, Ole, Nouvelle méthode pour l'examen et l'expression numérique du sens chromatique. Internat. med. Soc. Ann. d'Ocul. Juli und August. S. 71.

140. Bull, Ole, Neue Methode zur Untersuchung und numerischen Bestimmung des Farbensinnes. Internat. med. Kongress zu London. Arch. f. Augenheilk. XI. S. 82.

141. Bull, Ole, Studien über Licht und Farbensinn. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVII, 1. S. 54.

142. Charpentier, A., Sur la quantité de lumière nécessaire pour percevoir les couleurs d'objects de differentes surfaces. Compt. rend. XCII. S. 92.

143. Cohn, H., Neue Prüfungen des Farbensinnes mit pseudo-isochromatischen Tafeln. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. V. S. 372—378.

144. Cohn, H., Über die schnellste, einfachste und zuverlässigste Methode zur Entdeckung der Farbenblindheit. Berliner klin. Wochenschr. No. 19 u. Breslauer ärztl. Zeitung. III. S. 200.

145. Dobrowolsky, W., Über die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spektralfarben bei wechselnder Lichtstärke derselben. Arch. f. d. ges. Physiol. XXIV. S. 189.

146. Donders, F. C., Über Spektroskope und spektroskopische Untersuchungen zur Bestimmung des Farbensinnes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 181.

147. Donders, F. C., Over spectroscopen en spectroscopisch onderzoek, tot bepaling van den kleurzin. K. Acad. van Wetensch. 26. Febr. 3 S.

148. de Fontenay, Kontrol med Farveblindheten. Hospitals-Tidende 1881. 14. September.

149. Geissler, Über Farbenblindheit. Nach den neueren Untersuchungen zusammengestellt. Schmidt's Jahrb. f. d. ges. Med. CXCI. S. 73.

150. Gillet et Grandmont, Sur un procédé expérimental pour la détermination de la sensibilité de la rétine aux impressions lumineuses colorées. Compt. rend. XCII. S. 1189; Rec. d'Opht. S. 405; Gaz. méd. de Paris. No. 23.

151. Glan, P., Über Apparate zur Untersuchung der Farbenempfindungen. Arch. f. d. ges. Physiol. XXIV. S. 307.

1881. 152. Glan, P., Ophthalmospektroskop. Bericht über d. wiss. Instr. a. d. Berliner Ausstellung im Jahre 1879. S. 304.

153. v. Hippel, A., Über einseitige Farbenblindheit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVII, 3. S. 47.

154. Holmgren, Fr., Über einseitige Farbenblindheit. Upsala läkaref. Förh. XVI. S. 2.

155. Holmgren, Fr., Underrättelse angående ensidig färgblindhet. Upsala läkaref. Förh. XVI. S. 308.

156. Jeffries, J., On some points in regard to color-blindness. Reprinted from the Journal of nervous and mental disease. VIII. No. 3. July.

157. Jeffries, J., Über den Blick der Farbenblinden. Amer. Ophth. Soc. et New-Port. 27.—28. Juli.

158. Jeffries, J., Observations on a peculiar expression of the eyes of the colour-blind. Transact. of the internat. med. Congr. 7. Sess. London. III. S. 121.

159. Jeffries, J., Colour-blindness and defective vision; their control. Gaillard's med. Journ. New York. XXXI. S. 5.

160. de Keersmaecker. Examen de la vision du personnel des chemins de fer en France et en Belgique. Rec. d'Opht. S. 193.

161. de Keersmaecker, Diagnostic du daltonisme par la méthode dite des laines colorées. Rev. clin. d'Ocul. Bordeaux. II. S. 97.

162. de Keersmaecker, Le daltonisme et les altérations du sens visuel. Bruxelles, Manceaux; Paris, Delahaye.

163. Kolbe, Bruno, Geometrische Darstellung der Farbenblindheit. Petersburg. 104 S. u. 3 Tafeln.

164. Kolbe, Bruno, Farbensättigungstafeln zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit. Mit deutsch-russisch-französischem Text. Petersburg und Leipzig.

165. Kolbe, Bruno, Über die zweckmäßigsten Methoden zur Massenprüfung des Farbensinnes. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dezember.

166. Kolbe, Bruno, Beschreibung eines Farbenmessers zur numerischen Bestimmung von Pigmentfarben und zur graduellen Abschätzung der Farbenblindheit. Petersburger med. Wochenschr. No. 18. S. 154.

167. Libbrecht, Considérations pratiques sur l'examen des employés du chemin de fer et de la marine au sujet du daltonisme. Transact. of the internat. med. Congr. London. III. S. 47.

168. Maréchal, J., Un appareil pour l'appréciation de l'acuité chromatique dans un examen sommaire du personnel de la marine et des chemins de fer. Transact. internat. med. Congr. 7. Sess. London. III. S. 126.

169. Maréchal, J., Appareil pour la détermination de l'acuité visuelle et de la vision des couleurs. Internat. ophth. Congr. Mailand. Compt. rend. S. 244.

170. Maréchal, J., Appareil pour explorer la vision des couleurs. Brest.

171. Mauthner, L., Über farbige Schatten. Farbenproben und erworbene Erythrochloropie. Wiener med. Wochenschr. No. 38/39.

172. Mauthner, L., Über das Wesen und die Bestimmung der Farbenblindheit. Mitteil. d. Wiener med. Dokt.-Kolleg. VII, 1 u. 2.

173. Oliver, Ch. A., Description of a color-sense measure. Arch. of Ophth. X. No. 4.

174. Parinaud, Détermination numérique de l'acuité visuelle pour les couleurs et la lumière homogène. — Chromoptomètre. Ann. d'Ocul. LXXXV. S. 113.

175. Parinaud, Chromoptomètre pour l'examen des employés de chemin de fer et des marins. Transact. of internat. med. Congr. London. II. S. 124.

1881. 176. Pflüger, E., Zur Diagnose der Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. V. S. 206.

177. Roberts, Detection of colour-blindness and imperfect eyesight. London.

178. Reuss, Farbentäfelchen. Wiener med. Presse. No. 7 u. 8.

179. Rothe, R., Farbenkreisel. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. März. S. 93.

180. Rothe, R., Farbenkreisel nebst Musterkarte der farbigen Papierscheiben zu Gleichungen. Prag; Ann. d'Ocul. LXXXV. S. 181.

181. Schenkl, Die Behelfe zur Diagnose der Rotgrünblindheit. Prager med. Wochenschr. VI. No. 19, 27 u. 48.

182. Seydewitz, On color-blindness and the development of the color-sense. New-Orleans med. and surg. Journ. S. 81.

183. Stilling, J., Simultankontrast bei Farbenprüfungen. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Mai. S. 129.

184. Szilagyi, E., Über monoculares Mischen der Farben. Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 28.

1882. 185. Bull, Ole, Die chromatoptometrische Tabelle. Christiania. Aschehong. Tafel mit 4 Seiten Text.

186. Donders, Neue Untersuchungen über Farbensysteme. Onderzoek i Labor. d. Utrechter Hoogesch. Derde. Reeks VII. S. 95.

187. Geissler, A., Die Farbenblindheit, ihre Prüfungsmethoden und ihre praktische Bedeutung. Leipzig. 113 S. Aus Schmidt's Jahrbüchern. s. 149.

188. v. Helmholtz, H., Bemerkungen zum Leukoskop. Verhandl. d. Berliner physik. Ges. No. 2. S. 5 u. 6.

189. Jeffries, Color-names, color-blindness and the education of the color-sense in our schools. »Education«. March.

190. König, A., Über das Leukoskop. Verhandl. d. Berliner physik. Ges. No. 2. S. 1—5.

191. Mengin, Un appareil pour appréciation de l'acuité chromatique dans un examen sommaire du personnel de la marine et des chemins de fer. Transact. of the internat. Congr. London. III. S. 126.

192. Oliver, Ch., Beschreibung eines Farbensinnmessers. Arch. f. Augenheilk. XII. S. 91.

193. Oliver, Ch., Preliminary paper on the determination of a standard of colour-sense for reflected colour by daylight. Arch. of Ophth. XI. No. 1. March.

194. Pflüger, E., Methode zur Prüfung des Farbensinnes mit Hilfe des Florkontrastes. 2. Aufl. Bern, Dalp.

195. Rosenstiehl, De l'emploi des disques tournants pour l'étude des sensations colorées. Intensité relative des couleurs. Compt. rend. No. 21.

196. Stilling, J., Einige Bemerkungen über Farbenprüfung. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 35.

197. Stilling, J., Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes. Kassel, Fischer.

198. Thomson, W., The practical examination of railway employers, as to color-blindness, acuteness of vision and hearing. Med. News. Philadelphia. XL. S. 36. (Nettleship, on diseases of the eye.

199. Vitali, E., L'achromatopsia, o daltonismo, considerata in modo speciale nei suoi rapporti col servizio ferroviario; ed espositione del metodo Holmgren per riconoscerla. Bari.

1883. 200. Bull, Ole, Bemerkungen über den Farbensinn unter verschiedenen physiologischen und pathologischen Verhältnissen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIX, 3. S. 71.

201. Galezowski, X., Échelles optométriques et chromatiques pour mesurer l'acuité de la vision, les limites du champ visuel et la faculté chromatique. Paris.

1883. 202. Holmgren, Über die beste Art, die einseitige Farbenblindheit zu entdecken. Upsala läkaref. Förh. XVIII. S. 533—539. (Schwedisch.)

203. Holmgren, Detection of one-sided colour-blindness. Upsala läkaref. Förh. XVII. S. 894.

204. Jeffries, R. J., Colour-blindness: Its dangers and its detection. New ed. revised and enlarged. Boston.

205. Kolbe, B., Beitrag zur qualitativen und quantitativen Prüfung des Farbensinnes vermittelst der Pigmentfarben. Vortrag, gehalten in der allgemeinen Gesellschaft St. Petersburger Ärzte am 30. Nov. 1882. Arch. f. Augenheilk. XIII, 1. S. 53 und St. Petersburger med. Wochenschrift. VIII. S. 66.

206. Kongl, Medicinalstyrelsens cirkulär till läkarne i riket med uppgift om den metod, som vid undersökningar angående färgeblindhet bör fäljas. Hygiea. Stockholm. XLV. S. 265. (Ref. Deutsche milit.-ärztl. Zeitschr. XII. S. 398.)

207. König, A., Über den neutralen Punkt im Spektrum der Farbenblinden. Verh. d. physik. Ges. zu Berlin. Sitzung v. 2. März 1883.

208. König, A., Das Leukoskop und einige mit demselben gemachte Beobachtungen. Wiedemann's Ann. XVII. S. 990—1008 u. Zeitschr. f. Instrumentenk. III. S. 20—26.

209. Nettleship, E., Students guide to diseases of the eye. 2. Am. from the 2. Engl. ed. with a chapter on examination for color perception by William Thomson. Philadelphia. 416 S.

210. Pflüger, E., Neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Farbensinnes. Sitzungsbericht d. 15. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 189.

211. Pithiot, J., Apparat zur Auffindung und Bestimmung von Farbennuancen, welche sich aus der Zusammensetzung einfacher Farben ergeben. Zeitschr. f. Instrumentenk. IV. S. 73.

212. v. Reuss, A., Untersuchungen der Augen von Eisenbahn-Bediensteten auf Farbensinn und Refraktion. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIX, 2. S. 229.

213. Ribeiro dos Santors, Chromatoscope. Ann. d'Ocul. XC. S. 190.

214. Seggel, Untersuchungen auf Farbenblindheit und Pupillendistanz. Sep.-Abdr. Festschrift d. ärztl. Vereins zu München.

215. Szili, Pflüger's Untersuchungsmethode zur Erkennung der Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dezember. S. 234 und Szemészet. No. 5.

216. Stilling, J., Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes. Kassel, Fischer.

217. Waldhauer, W., Untersuchungen betreffend die untere Reizschwelle Farbenblinder. Dorpat. 64 S.

1884. 218. Charpentier, Nouveau modèle d'instrument destiné à l'examen clinique de la sensibilité lumineuse et de la perception des couleurs. Arch. d'Opht. S. 210.

219. Hilbert, R., Ein neues und bequemes Hilfsmittel zur Diagnose der Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. XIII (4). S. 383.

220. Kolbe, Über die Notwendigkeit der Helligkeits- und Intensitätsmessung von Pigmentfarben, welche zur Prüfung des Farbensinnes dienen. Chodin's Westnik Ophth. (Ophth. Bote.) IV. S. 342. (Russisch.)

221. König, A., Über einen neuen Apparat zur Diagnose der Farbenblindheit (Leukoskop). Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dezember. S. 375.

222. Miéville, M. E., Nouvelle méthode de détermination quantitative du sens lumineux et chromatique. Arch. d'Opht. IV. S. 113 u. 423.

223. Parinaud, H., Nouveau modèle de photoptomètre, d'astigmomètre et d'ophtalmoscope à refraction. Bull. de la Soc. franç. d'Opht. S. 191.

1884. 224. Roberts, C., The detection of colour-blindness and imperfect eyesight. 2. Edit. with a table of coloured wools and sheet of test types. London. 5 S.

225. Wolffberg, L., Über eine auf die Abhängigkeit des Farbensinnes vom Lichtsinne gegründete Methode der Lichtsinnprüfung. Congr. internat. des Sc. méd. Compt. rend. de la Sect. d'Opht. Copenhague 1885. S. 25 und Sitzungsbericht d. physik.-med. Societät zu Erlangen. Sitzung vom 12. Mai.

1885. 226. Aitken, J., Chromomictors. Proc. Edinb. XIII. S. 122—130.

227. Bull, Ole, Farvesenstabeller. Forh. Norske med. Selsk. i Kristiania. S. 48.

228. Charpentier, Sur la mesure de l'intensité des sensations, en particulier des sensations colorées. Compt. rend. de l'Acad. des Sc. S. 1248.

229. Chibret, Chromatoscope. Arch. d'Opht. V. S. 181.

230. Colardeau, Izarn et Chibret, De l'application de la polarisation chromatique à la détermination rapide et quantitative de l'acuité chromatique dans la région de la macula. Bull. et Mém. Soc. franç. d'Opht. III. S. 316.

231. Oliver, A description of some modifications in a colour-sense measure. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-first Meet. S. 182.

232. Parinaud, Appareil pour l'étude des couleurs spectrales. Bull. et Mém. Soc. franç. d'Opht. III. S. 327.

233. Roy, L., Examen du sens de la lumière d'après une méthode basée sur la dépendance du sens des couleurs vis-à-vis le sens de la lumière. Rev. clin. d'Ocul. V. S. 113.

234. Wolffberg, L., Über den differential-diagnostischen Wert der Farbensinnprüfungen. Sitzungsberichte d. ophth. Ges. zu Heidelberg.

1886. 235. Charpentier, A., Méthode polarimétrique pour la photométrie et le mélange des couleurs. Arch. d'Opht. S. 40.

236. Chibret, Présentation du chromatoptomètre des M. M. Colardeau, Izarn et Chibret (s. 230). Rec. d'Opht. S. 436.

237. Dennet, Holmgren's and Thomson's Worsteds in a new form. Amer. Journ. of Ophth. S. 261.

238. Jeaffreson, C. S., A colour circle for testing the chromatic sense. Lancet. II. S. 115.

239. Oliver, A new series of Berlin wools for the scientific detection of subnormal colour perception. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. XXII. S. 250 u. Ophth. Rev. S. 202.

240. v. Reuss, A., Wolltäfelchen zur Untersuchung auf Farbenblindheit. Wiener med. Presse. No. 3.

241. Röhrich, K., Messung der Schärfe des Farbensinnes an den Tafeln von Dr. Ole Bull. Greifswald. 23 S.

242. Sewall, H., A simple method of testing for color-blindness. Med. News. Philadelphia. S. 625.

243. de Wecker, L., et Masselon, Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sens chromatique et le sens lumineux. Deuxième éd. Paris, Doin.

244. Wolffberg, L., Eine einfache Methode, die quantitative Farbensinnprüfung diagnostisch zu verwerten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 359.

1887. 245. Boehm, Die Diagnose des Astigmatismus durch die quantitative Farbensinnprüfung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 429.

246. Chibret, Contribution à l'étude du sens chromatique au moyen du chromatoptomètre. Rev. gén. d'Opht. S. 49.

247. Herzog, B., Über den praktischen Nutzen der Wolffberg'schen Apparate zur diagnostischen Verwertung der quantitativen Farbensinnprüfung. Inaug.-Diss. Königsberg i. Pr.

1887. 248. Hoor, K., Zur quantitativen Farbenprüfung des Dr. Louis Wolffberg vom Standpunkte des Militärarztes. Militärarzt. XXI. S. 49.

249. Hoor, K., Prüfung auf Farbenblindheit bei der K. K. Armee und Kriegsmarine. Militärarzt. XXI. S. 73 u. 81.

250. Oliver, C. A., A new series of Berlin wools for the scientific detection of subnormal colourperception (colour-blindness). Philadelphia. 4 S.

1888. 251. Aitken, J., The new chromomictor. Scient. News. I. No. 2. S. 27 bis 28; No. 3. S. 57—58.

252. Gillet et Grandmont, Périoptométrie et chromatopsie, périmètre et chromatoptomètre. Arch. d'Opht. S. 208.

253. Grossmann, K., Colour-blindness; new tests. Ophth. Rev. S. 275.

254. Grossmann, K., Colour-blindness, with demonstrations of new tests. Brit. med Journ. II. S. 1041.

255. Hering, E., Eine Vorrichtung zur Farbenmischung, zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Kontrasterscheinungen. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLII. S. 119. (Die Einrichtung des im Text beschriebenen Fensters wird von Rothe, Universitätsmechaniker in Leipzig, für 120—160 Mark geliefert.)

256. Oliver, Description of a series of tests for the detection and determination of subnormal colour perception designed for use in railway service. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 86.

257. Parinaud, H., Échelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs. Paris, Raulot.

258. Seggel, C., Über die Prüfung des Licht- und quantitativen Farbensinnes und ihre Verwertung für die Untersuchung des Sehvermögens der Rekruten, nebst Bemerkungen über die nachteilige Einwirkung des myopischen Prozesses auf das Sehvermögen. Arch. f. Augenheilk. XVIII. S. 303.

259. Stephenson, H. A., Wolffberg's Colour-test. Brit. med. Journ. II. S. 111.

1889. 260. Bickerton, Criticisms of the tests for colour-blindness by the board of trade. Ophth. Rev. S. 297.

261. Buxton, St. C., Colour-tests for railway servants. Lancet. II. S. 1252.

262. Deeren, Quelques aperçus sur les meilleurs moyens à prendre pour dresser une échelle chromatique. Rec. d'Opht. S. 585.

263. Edridge-Green. The detection of colour-blindness. Brit. med. Journ. II. S. 1036.

264. Edridge-Green, The detection of colour-blindness from a practical point of view. London. Ballière, Tindall and Cox.

265. Grossmann, Notes on tests for colour-blindness. Ophth. Rev. S. 298.

266. Grossmann, Zur Prüfung auf Farbenblindheit. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 13.

267. Heyes, J. F., The testing of colour-blindness. Nature. XL. S. 572.

268. Lediard, M. A., Colour test for railway purposes. Lancet. II. S. 1056.

269. Lucanus, C., Über die Schwäche des Farbensinnes. Arch. f. Augenheilk. XXI. S. 41.

270. Stilling, J., Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes. Leipzig, Thieme.

271. Uhthoff, W., Die praktischen Untersuchungsmethoden auf Farbenblindheit. Münchener med. Wochenschr. S. 657.

1890. 272. Bickart, E., Über Wolffberg's quantitative Farbensinnprüfung zur Diagnose von Refraktionsanomalien. Diss. Straßburg.

273. Bickerton, Colour-blindness: a criticism of the board of trade tests. Brit. med. Journ. I. S. 535.

274. Clark, C. J., Testing for colour-blindness. Nature. XII. S. 147.

275. Edridge-Green, Two new tests for colour-blindness. Brit. med. Journ. S. 73.

1890. 276. Edridge-Green, The detection of colour-blindness. Brit. med. Journ. 9. November.

277. Grossmann, K., Note on tests for colour-blindness. Brit. med. Journ. 11. Januar.

278. Hering, E., Zur Diagnostik der Farbenblindheit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 1. S. 217. (Der im Text erwähnte Apparat wird von Rothe, Universitätsmechaniker in Leipzig, für 115 Mark geliefert.)

279. Hering, E., Die Untersuchung einseitiger Störungen des Farbensinnes mittelst binokularer Farbengleichungen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 3. S. 1.

280. Lodge, Testing for colour-blindness. Nature. London. XIII. S. 100.

281. Stilling, J., Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes. 3. Aufl. (der ganzen Folge 9.) Mit 9 farbigen Tafeln. Leipzig, Thieme.

1891. 282. Abney, W., On the examination for colour of cases of tobaco scotoma and of abnormal colour-blindness. Proceed. Roy. Soc. London. XIX. S. 491.

283. Abney, W., The numerical registration of colour. Proceed. Roy. Soc. London. XIX. S. 227.

284. Adler, H., Die Farbenstiftprobe. Eine Methode zur Untersuchung auf Farbenblindheit. Wiener klin. Wochenschr. No. 21. S. 387.

285. Edridge-Green, A review of the tests for colour-blindness. Brit. med. Journ. No. 1600. S. 470.

286. Wolffberg, L., Apparat zur diagnostischen Verwertung der quantitativen Farbensinnprüfung. 3. Aufl. 55 S. Breslau, Preuss & Jünger.

287. Wolffberg, L., Zur dritten Auflage des diagnostischen Farbenapparates. Erläuterungen für den praktischen Arzt und Militärarzt. Breslau, Preuss & Jünger.

1892. 288. Grossmann, Zur Prüfung auf Farbenblindheit. Verh. d. 10. internat. med. Kongr. zu Berlin. IV, 2. S. 57.

289. Libbrecht, Du daltonisme au point de vue de l'examen des employés du chemin de fer et de la marine. Verh. d. 10. internat. med. Kongr. zu Berlin. IV, 2. S. 92.

290. Mackay, G., On the quantitative estimation of the colour sense. Brit. med. Journ. II. S. 626.

291. Snell, S., On the importance of the examination of the eyes separately for defects of colour vision. Brit. med. Journ. I. S. 222.

1893. 292. Buxton, St. C., On a combination test for colour vision. Lancet. 13. Juli.

293. Cousins, Nouveau cadran pour l'épreuve de la vision des couleurs. Réun. annuelle de la Brit. med. Assoc. August.

294. Millér, Présentation d'un carnet portatif pour l'examen des couleurs. Rec. d'Opht. S. 443.

295. Oliver, C. A., A series of wools for the ready detection of colour-blindness. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. held at New London. Juli. S. 538.

296. Sachs, Eine Methode der objektiven Prüfung des Farbensinnes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIX, 3. S. 108.

297. Schmidt und Hänsch, Neuer Helmholtz'scher Farbenmischapparat. Zeitschr. f. Instrumentenk. XIII. S. 200.

298. Wall, Examination of railway employers for vision, colour-blindness and hearing and the methods employed. Ophth. Rev. June.

299. Wolffberg, Über die Funktionsprüfungen des Auges. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 158—168.

1894. 300. Carter, R. B., The quantitative determination of colour vision. Lancet. I. S. 665.

1894. 301. Edridge-Green, A new spectroscope for the quantitative estimation of defects of colour perception. Brit. med. Assoc. Bristol.

302. Lovibond, J. W., Measurement of light and colour sensations. London. G. Gillaud Sons. 132 S.

303. Mauthner, L., Farbenlehre. Der »Funktionsprüfung« erster Teil. 2. Aufl. Wiesbaden, Bergmann.

304. Thomson, W., A new wool test for the detection of color-blindness. Med. News. Philadelphia. XV. S. 175.

305. Wolffberg, L., Diagnostischer Farbenapparat. 4. Aufl. Breslau, Preuss & Jünger. 40 S. mit 2 Sehproben.

1895. 306. Guaita, L., Metodo per miscerare la visione cromatica e la sensibilità luminosa. Ann. di Ottalm. XXIV. S. 555.

307. Edridge-Green, The tests for color-blindness. Amer. Journ. of Ophth. S. 292.

308. Jeffries, J., Report on worsteds for Holmgren's test. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-first Annual Meet. New London. S. 327.

1896. 309. Cartwright, An improved wool stick for testing colour-vision. Brit. med. Journ. March. I. S. 602.

310. Jennings, E., Colour-vision and colour-blindness. A practical manual for railroad surgeons. Philadelphia, F. A. Davis Company.

311. Oliver, Ch., Some of the inefficiencies of the methods ordinarily employed by railway surgeons for the detection of subnormal colour-perception. Ann. of Ophth. and Otol. V, 4. S. 912.

312. Schoeler, Zur Vereinfachung spektroskopischer Apparate für die Untersuchung von Farbenblinden zu ärztlichen Zwecken. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 105.

313. Wood, C. A., Colour measurement, and its application in medicine and the arts. Medicine. March.

1897. 314. Adler, Bemerkungen zur »Farbenstiftprobe«. Münchener med. Wochenschrift. S. 338.

315. Armaignac, De l'emploi des fiches pour l'examen et le contrôle facile et rapide de la vision des employés des chemin de fer. Rec. d'Opht. S. 637.

316. Görtz, Zur Prüfung der Farbenblindheit, speziell der Bahnbediensteten. Münchener med. Wochenschr. S. 196.

317. v. Grósz, E., Examen de la vision obligatoire du personnel des chemins de fer royaux de l'Etat hongrois. Ann. d'Ocul. CVIII. S. 191.

318. Neuschuler, L'ophthalmochromoscopie. Rec. d'Opht. S. 643.

319. Ohlemann, M., Die Farbenblindheit und ihre Diagnose. Braunschweig.

320. Williams, C. H., Standards of form- and colour vision required in railway service. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-third Annual Meet. S. 227.

1898. 321. Ballabaw, Th., Cyklochrom. 12. internat. Congr. Sekt. XI. Ophth. S. 198 und Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 312.

322. Bietti, Di un nuovo metodo per riconoscere le alterazioni del senso cromatico. Ann. di Ottalm. XXVII. S. 3.

323. Daae, A., Die Farbenblindheit und deren Erkennung. Übersetzt von Sänger. 3. Aufl. Berlin. Hirschwald.

324. Knies, M., Das Chromoskop, ein bequemes Instrument zur Untersuchung des Farbenvermögens der Macula lutea und deren Anomalien. Arch. f. Augenheilk. XXXVII. S. 225.

325. Nagel, W., Tafeln zur Diagnose der Farbenblindheit. 12 kol. Tafeln mit Text. Wiesbaden, Bergmann.

326. Pflüger, E., Demonstration: 1. Hegg'scher äquivalenter invariabler Farben, 2. des Grenzgrau, 3. des Rose'schen Farbenmessers, 4. eines Farbendreiecks. Sitzungsbericht d. 27. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 339.

1898. 327. Snellen, La détermination quantitative du sens chromatique. Oogheelk. Versl. en Bybladen. No. 39.

1899. 328. Cohn, H., Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinnes. Sep.-Abdr. aus Sitzung d. schles. Ges. f. vaterl. Kultur (Hygien. Sekt.) vom 9. Oktober.

329. Mitchell, A convenient apparatus for testing the colour sense. Ophth. Rec. S. 445.

330. Nagel, W. A., Beiträge zur Diagnostik, Symptomatologie und Statistik der angeborenen Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. XXXVIII. S. 31.

331. Nagel, W. A., Die praktische Bedeutung und die Diagnose der Farbenblindheit. (Verein Freiburger Ärzte.) Münchener med. Wochenschr. S. 257.

332. Nagel, W. A., Die Diagnose der praktisch wichtigen angeborenen Störungen des Farbensinnes. Wiesbaden, J. F. Bergmann.

333. Neuschuler, A., La perception de la couleur, et l'acuité visuelle pour les caractères colorés sur fond gris variable. Arch. d'Opht. XIX. S. 519.

334. Pflüger, Eine Tafel zur Prufung auf Farbenblindheit mittelst des Florkontrastes. Bericht über die Verh. d. 9. internat. Ophth.-Kongr. in Utrecht. Beilageh. z. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 86.

335. Williams, More uniform tests for vision, color-sense and hearing. Transact. oft the Amer. Ophth. Soc. Thirty-first Annual Meet. S. 547.

1900. 336. Abelsdorff, G., Über die Möglichkeit eines objektiven Nachweises der Farbenblindheit. Zeitschr. f. Psych. und Phys. d. Sinnesorgane. XLI. S. 155.

337. Bickerton, Remarks on the Holmgren wool test. Brit. med. Journ. 17. Mars.

338. Bijlsma, R., De waarde van de chromatoptometerie voor den practischen arts. (Der Wert der Chromatoptometrie für den praktischen Arzt.) Geneesk. Courant. No. 34 u. 35.

339. Cohn, H., Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinnes mit Benutzung des Meyer'schen Florkontrastes. Berlin, O. Coblenz.

340. Edridge-Green, Colour-blindness. Ophth. Rev. S. 271.

341. Eversbusch, O., Ein Apparat zur praktischen Untersuchung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Marinepersonal. v. Graefe's Arch. f. Ophth. L. S. 150.

342. Grossmann, Examen quantitatif de la perception des couleurs. (Internat. med. Kongr. zu Paris.) Zeitschr. f. Augenheilk. IV. S. 255.

343. Nagel, W. A., Notiz über einige Modifikationen an meinem Apparate zur Diagnose der Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. XLI. S. 384. (Der Apparat ist für den Preis von ca. 30 Mark vom Mechaniker Elbs in Freiburg i. B. zu beziehen.)

344. Norrie, G., Über Prüfung des Farbensinnes bei Seeleuten. Hosp. Tid. S. 293. (Dänisch.)

345. Pflüger, E., Eine Tafel zur Prüfung mittelst des Florkontrastes. Bericht über die Verh. d. 9. internat. ophth. Kongr. zu Utrecht. Beilageh. z. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 86.

346. Stilling, J., Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes. 10. Ausg. Leipzig, Thieme.

347. Thomson, A lantern for detecting color-blindness in railroad employers. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-sixth Annual Meet. S. 189.

348. Williams, An improved lantern for testing color-perception. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-sixth Annual Meet. S. 192.

1901. 349. Edridge-Green, The essentials of a test for color-blindness. Ophth Rev. S. 604.

350. Edridge-Green, Remarks on the Holmgren test. Lancet. 13. April.

1901. 351. Hochheim, Über Farbenblindheit in bahnärztlicher Beziehung und über den Wert des Blau als Signalfarbe. Berliner klin. Wochenschr. No. 33.

352. Schreiber, Über Untersuchungsmethoden des Farbensinnes. Münchener med. Wochenschr. S. 992.

353. Thomson, W. and A. G., Improved lantern for detecting color-blindness. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-seventh Annual Meet. S. 391. Philadelphia med. Journ. 21. Sept. und Ophth. Rec. S. 320.

1902. 354. Edridge-Green, The requirements of a test for colour-blindness. Ophth. Rev. XXI. S. 31.

355. Edridge-Green, On the necessity for the use of colour names in a test for colour-blindness. Ophth. Rev. S. 637.

356. Eversbusch, Praktische Prüfung des Farbensinnes mit den beim Eisenbahnbetriebe gebräuchlichen Signallichtern. Münchener med. Wochenschr. No. 39.

1903. 357. Broca, A., Sur la vision des signaux colorés et les épreuves de la perception colorée. Ann. d'Ocul. CXXVII. S. 265.

VII. Die Bestimmung der Sehschärfe.

Von

Dr. E. Landolt.

Mit Fig. 170—179.

§ 133. Die Sehschärfe wird offenbar bestimmt durch den kleinsten Winkel, unter welchem man einen Gegenstand zu erkennen vermag.

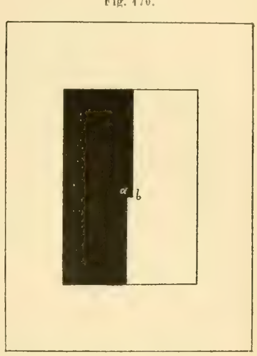
Wodurch aber wird das Erkennen eines Gegenstandes bestimmt? — Erkennen wir, am fernen Horizont des Meeres, ein Schiff, einen Turm, einen Küstenstrich, so geschieht dies dadurch, dass wir einer gewissen Unregelmäßigkeit der die dunklere See- von der helleren Himmelsfläche trennenden Kontur inne werden.

Zu diesem Erkennen gehört also einmal ein gewisser Grad von Lichtsinn, d. h. die Fähigkeit, den Unterschied zwischen den Helligkeiten zweier aneinander stoßenden Flächen zu empfinden; sodann aber auch die mit dem Lichtsinne durchaus nicht identische Fähigkeit, die Form einer Kontur wahrzunehmen; endlich die Fähigkeit, das Empfundene richtig zu deuten. Die letztere ist offenbar eine Funktion der Intelligenz, der Erfahrung, mit einem Worte der Psyche. Handelt es sich darum, die Funktion des Sehorganes möglichst rein zu bestimmen, so muss dazu eine Methode gewählt werden, bei welcher die Interpretation des Gesehenen auf das Minimum beschränkt wird.

Eine solche Methode lässt sich in folgender Weise herstellen (Fig. 170): Eine geradlinig begrenzte, schwarze Eisenblechplatte ist, senkrecht zu dieser Kontur, in zwei Teile geschnitten, welche sich mittelst einer Schraubenvorrichtung gegeneinander vor- und zurückschieben lassen.

Dem zu Untersuchenden wird die Platte in einem Rahmen so vorgezeigt, dass er nur deren Rand und daneben ein weißes Feld sieht. Sodann werden die beiden Teile der Platte allmählich gegeneinander verschoben, bis er gerade anzugeben weiß, wo und in welchem Sinne die Trennungslinie des schwarzen und weißen Feldes eine Knickung erfahren hat. Um den Ort derselben zu ändern, kann die Platte in Beziehung zu dem Rahmen verschoben werden, so dass die Knickung bald dem einen, bald dem anderen Rande desselben näher zu Tage tritt. Auch ist es wünschenswert, die Lage des Apparates überhaupt, und damit die Richtung der Trennungslinie zu verändern.

Fig. 170.



Wird die Untersuchung in einer gegebenen Entfernung vorgenommen, so kann der Winkel, unter welchem die Stufe *ab* dem untersuchten Auge erscheint, an einer Einteilung direkt abgelesen werden. Der kleinste Winkel, dessen ein Auge zur Wahrnehmung der Veränderung der Kontur, des Lageunterschiedes (Hering) der beiden Flächen bedarf, bildet offenbar den Ausdruck für den Grad dieser Sehfunktion.

Volkmann (30), Wülfing (105), E. Hering (139) haben gefunden, dass derselbe ungefähr 11 Sekunden beträgt.

Man könnte diese Funktion des Sehorganes vielleicht mit »Formsinn« bezeichnen. Ich möchte sie lieber, mit E. Hering, den »optischen Raumsinn« heißen, und dem Ausdrucke »Formsinn der Netzhaut« eine etwas weitere Bedeutung geben. In der That, wie wir ein Gesicht nicht nur aus dem Profil, ja mit dem Profil allein oft überhaupt nicht richtig zu erkennen im stande sind, so äußert sich das Formunterscheidungsvermögen des Auges noch in einer anderen Weise, als in der einfachen Empfindung der Kontur. Kehren wir zu unserem ersten Beispiele eines entfernten Schiffes zurück. Es handle sich um ein Dampfboot; wir sollen angeben, ob es ein, zwei oder drei Kamine und außerdem noch Masten habe, und wie viele. Dazu genügt nun das Wahrnehmen einer einfachen Unregelmäßigkeit der Kontur nicht. Wir müssen im stande sein, mehrere Punkte oder Linien gleichzeitig getrennt wahrzunehmen, die Details des Objektes zu erkennen.

Diese Funktion des Sehorganes, diese Art des Formsinnes nennt E. Hering »das optische Auflösungsvermögen«. Sie ist es, welche man bisher in der Praxis mit »Sehschärfe« bezeichnet hat. Sie wird denn auch definiert als das Vermögen, Punkte oder Striche getrennt zu unterscheiden (Hooke 1, Donders 27, Snellen 129).

Insofern es gestattet ist, die Funktionen des Sehorganes mit denen der Haut zu vergleichen, so könnte man den Lichtsinn am ehesten der Druck-, den Farbensinn der Temperaturempfindung assimilieren, während die Sehschärfe dem Tastsinne gleich käme.

In der That findet diese Art des Formsinnes der Netzhaut, wie der Tastsinn der äußeren Haut, ihren Ausdruck in der getrennten Empfindung zweier gleichzeitig auf sie wirkenden Eindrücke.

Man bestimmt denn auch die Schärfe der beiden Funktionen in analoger Weise. Wie die kleinste Entfernung der Spitzen des Tasterzirkels voneinander das Maß des Tastsinnes, so giebt die kleinste gegenseitige Entfernung zweier Lichtpunkte auf der Netzhaut, die noch getrennt unterschieden werden, das Maß der Sehschärfe.

Es ist nun allerdings nicht so einfach, den gegenseitigen Abstand zweier erregten Netzhautelemente zu finden, wie den der Eindrücke zweier Zirkelspitzen auf der Haut. Im Auge muss man diese Größe berechnen aus dem gegenseitigen Abstande der Objektpunkte, deren Bilder die erregten Netzhautpunkte sind, aus der Entfernung der ersteren vom ersten und der Entfernung der letzteren, d. h. der Netzhaut, vom zweiten Knotenpunkte.

Bei gehöriger Entfernung des Objektes vom Auge darf man allerdings die zwei Knotenpunkte in einen einzigen, K (Fig. 171), zusammenfallen lassen. Die Lage desselben hängt ab von dem brechenden Systeme des Auges, dessen optisches Centrum er darstellt.

Fig. 171.

Seien Fig. 171 O und O' die beiden Objektpunkte, i und i' die entsprechenden Bildpunkte auf der Netzhaut, d die Entfernung der ersteren, g'' die der letzteren vom Knotenpunkte K.

Der Winkel OKO' ist der Gesichtswinkel, unter welchem die beiden Objektpunkte dem Auge erscheinen. Er ist offenbar als Gegenwinkel dem

Winkel iKi' gleich; also sind die Dreiecke OKO' und iKi' einander ähnlich.

Bezeichnen wir OO' mit s, ii' mit x, so können wir setzen:

$$x : s = g'' : d,$$

woraus

$$x = \frac{s \cdot g''}{d}.$$

s und d sind messbar; g'' hängt ab von dem Refraktionszustande des Auges. Im gewöhnlichen, ruhenden emmetropischen Auge ist g'', d. h. die Entfernung der Netzhaut vom Knotenpunkte, = 15,5 mm; länger im achsenmyopischen, kürzer im achsenhypermetropischen Auge. Es kann aber, durch Vorsetzen eines Korrektionsglases im vorderen Brennpunkte (φ'), 13 mm vor der Hornhaut — bei Ausschluss der Akkommodation — in allen Augen mit gleichem dioptrischen Systeme, gleich gemacht werden[1].

Die Sehschärfe ist offenbar um so größer, je geringer die gegenseitige Entfernung der Punkte i und i'. Das Maximum des Formsinnes entspricht dem Minimum von x. Mit anderen Worten: Die Sehschärfe v ist dem x umgekehrt proportional.

$$v = \frac{1}{x}.$$

Also, wenn wir für x seinen obigen Ausdruck setzen:

$$v = \frac{d}{s \cdot g''}.$$

In der augenärztlichen Praxis handelt es sich nun allerdings nicht um die Bestimmung des absoluten Wertes von x, nicht um die absolute, sondern um die relative Sehschärfe, die Sehschärfe eines Auges im Vergleiche mit derjenigen eines anderen Auges. Da wir nun g'' für alle Augen gleich machen können, so dürfen wir diesen Wert in obiger Formel = 1 setzen, resp. ihn daraus verschwinden lassen, und der Ausdruck für die Sehschärfe wird einfach

$$v = \frac{d}{s}.$$

Nun ist $\frac{s}{d}$ nichts anderes, als die doppelte Tangente des halben Gesichtswinkels; da

$$\frac{\frac{s}{2}}{d} = \operatorname{tang} \cdot \frac{O'KO}{2}.$$

[1] Vgl. Abschnitt IV. Bestimmung der Refraktion des Auges.

Da wir es aber bei diesen Untersuchungen immer mit sehr kleinen Winkeln zu thun haben — ist doch die Sehschärfe auf das Netzhautcentrum beschränkt —, so dürfen wir $\frac{s}{d}$ ganz wohl der Tangente von OKO', ja dieselbe geradezu dem Gesichtswinkel gleich setzen.

Nun haben wir für die Sehschärfe den Ausdruck $v = \frac{d}{s}$ gefunden. Wir können also auch sagen, die Sehschärfe ist dem Gesichtswinkel umgekehrt proportional — insofern g'' als konstant betrachtet werden darf.

Aus dem Ausdrucke für v geht hervor, dass, bei gleichem Abstande (s) der Punkte voneinander, die Sehschärfe proportional ist der Entfernung (d) der Punkte vom Auge, und, bei konstanter Entfernung d, umgekehrt proportional dem Werte s.

Dieses s, der kleinste gegenseitige Abstand, den zwei Punkte in einer gegebenen Entfernung noch haben können, ohne aufzuhören getrennt unterschieden zu werden, ist von Giraud-Teulon treffend mit dem Ausdrucke des »Minimum separabile« bezeichnet worden.

§ 134. Versuche über den kleinsten Unterscheidungswinkel, das Minimum separabile, sind bekanntlich seit langer Zeit und in verschiedener Weise angestellt worden. Hooke (1) hält es für möglich, zwei Sterne unter einem Winkel von einer Minute getrennt zu erkennen. Buffon (3) kommt zu einem ähnlichen Resultate. Aubert (32) bezweifelt die Richtigkeit dieser Angabe. In der That scheinen Sterne einen größeren Distinktionswinkel zu erfordern als terrestrische Punkte. Untersuchungen mit weißen Scheiben auf schwarzem Grunde ergaben Struve als kleinsten Winkel, unter welchem er sie noch getrennt zu unterscheiden vermochte, 51″ (Mensurae micrometricae, S. 149).

Kleiner als für Punkte ist der Distinktionswinkel für Linien. Diese Thatsache erklärt sich dadurch, dass eine Linie, ceteris paribus, leichter sichtbar ist als ein Punkt, weil sie eine ausgedehntere Strecke der Netzhaut reizt als dieser. So haben Tobias Mayer (5), Th. Weber (16), Bergmann (20) mit parallelen Linien, Volkmann (13) mit Spinnwebefäden, Helmholtz (38) und Uhthoff (85a) mit Metalldrähten, Hermann Cohn (132) mit E-förmigen Figuren, unter den denkbar günstigsten Verhältnissen, Distinktionswinkel erhalten, die bedeutend unter einer Minute liegen. Giebt doch H. Cohn an, dass er junge, im Fernsehen geübte Egypter getroffen habe, die im Freien, bei bester Tagesbeleuchtung, seine Sehzeichen unter einem Winkel von 15″, 10″, einer sogar unter 7,5″ zu erkennen im stande gewesen wären[1].

[1] Setzt man die Entfernung des zweiten Knotenpunktes von der Netzhaut: $g'' = 15{,}5$ mm, so würde einem Gesichtswinkel von einer Minute eine Strecke von 0,0045 mm auf der Netzhaut entsprechen.

Nach Max Schultze ist der Durchmesser des Zapfenkörpers = 0,003 mm, der

§ 135. Bei genauer Bestimmung der Sehschärfe sind folgende Punkte in Betracht zu ziehen:

1. Die Größe des Netzhautbildes. Wir haben zwar oben angegeben, dass wir dieselbe in der Praxis außer acht lassen dürfen, insofern als g'' als konstant vorausgesetzt werden kann. Doch ist nicht zu vergessen, dass dieser Annahme denn doch keine absolute Gültigkeit zukommt.

2. Die Schärfe des Netzhautbildes. Diese hängt ab von der optischen Einstellung des Auges, von der Durchsichtigkeit der Medien, von der Weite der Pupille. Wenn auch eine sehr enge Pupille, durch Verminderung des ins Auge dringenden Lichtes, das Netzhautbild etwas verdunkelt, so trägt sie, durch Abblendung der Randstrahlen und die daraus folgende Beschränkung der Zerstreuungskreise, doch sehr zur Deutlichkeit des Netzhautbildes bei. In der That leidet die Sehschärfe gewöhnlich mehr durch Erweiterung, als durch Verengerung der Pupille (Hummelsheim 134).

Wir dürfen auch nicht außer acht lassen die Ähnlichkeit des Netzhautbildes mit seinem Objekte. Bei Unregelmäßigkeit der brechenden Flächen des Auges kann es vorkommen, dass die Netzhautbilder, obschon sehr lichtstark, doch so verzerrt sind, dass die Erkennbarkeit des Objektes sehr darunter leidet. Ja selbst die Korrektion eines hochgradigen regelmäßigen Astigmatismus kann, zwar nicht auf die Unterscheidbarkeit zweier Punkte, wohl aber auf die komplizierterer Objekte, einen ähnlichen Einfluss ausüben. Da der korrigierende Cylinder notwendigerweise vom Auge entfernt steht, wird, trotz vollkommener Deutlichkeit, das Netzhautbild in einem

der Außenglieder = 0,001 mm. Man hat nicht angestanden, aus diesen Zahlen den Schluss zu ziehen, dass die Zapfenaußenglieder die unteilbaren Elemente der Gesichtsempfindung seien, und der Bestimmung der Sehschärfe die Dimensionen derselben zu Grunde legen wollen. Es hat mir immer geschienen, man lasse sich in diesen Spekulationen etwas zu weit hinreißen, zu einer Zeit namentlich, wo unsere Kenntnisse von dem feineren Baue der Netzhaut noch so viel zu wünschen übrig lassen.

Aus den Berechnungen von Helmholtz (38), Lommel (45), Altmann (72) und Leroy (78) geht außerdem hervor, dass die Unregelmäßigkeiten des optischen Baues des Auges kaum je ein wirklich punktförmiges Netzhautbild zu stande kommen lassen. Das einem Punkte entsprechende Bild ist immer ein Zerstreuungskreis, dessen Durchmesser selten unter 36″ fallen dürfte. Sobald also der zwei Punkte trennende Gesichtswinkel unter 36″ fällt, lassen die zwei Zerstreuungskreise keinen Zwischenraum mehr frei, sie gehen ineinander über und werden als ein einziger Eindruck empfunden. Es wäre also der kleinstmögliche Distinktionswinkel ungefähr eine halbe Minute nicht der Ausdruck des Baues der Netzhaut, sondern der des optischen Systems des Auges.

Nuel (79) und auch Wülfing (105) haben in der That experimentell nachgewiesen, dass ein Zapfen der Fovea allein bis 20 percipierende Netzhautelemente enthalten kann.

So erklärt es sich u. a. auch, warum für sehr kleine leuchtende Flächen, an der unteren Grenze der Sichtbarkeit, das Produkt aus Oberfläche und Lichtstärke konstant bleibt.

Meridiane etwas größer als in dem darauf senkrechten. Astigmatismus ist eben keine Funktion der Achsenlänge, sondern der Krümmung der brechenden Flächen.

3. Die Intensität und die Farbe der Beleuchtung, was Aubert (32, 65) mit »absoluter Helligkeit« bezeichnet.

Seit Tobias Mayer (5), im Jahre 1754, zum ersten Male den Einfluss der Beleuchtung auf die Sehschärfe festzustellen gesucht hat, sind eine Reihe Untersuchungen über diese Frage gemacht worden. Die zuverlässigsten gehören der neueren Zeit an. Alle stimmen darin überein, dass, von dem Momente an, wo die Beleuchtung gerade noch das Erkennen der Prüfungsobjekte gestattet, die Sehschärfe mit der Intensität der Beleuchtung erst sehr rasch steigt, dann in eine Periode langsamer Zunahme übergeht, endlich, mit dem Gefühle der Blendung, wieder abnimmt (Tob. Mayer 5, A. Pasch [Preisarbeit der Innsbrucker med. Fakultät], Klein 58, Uhthoff 85a, Laan und Pickema 130, H. Cohn 132, Brudzewski 133).

Den Übergang der rasch ansteigenden in den mehr horizontalen Teil der die Sehschärfe darstellenden Kurve, fand Uhthoff bei einer Beleuchtungsintensität von 4 Kerzen in 1 m Entfernung von dem Prüfungsobjekte, Laan und Pickema bei ungefähr 7 Meterkerzen, das Maximum erreicht die Sehschärfe nach Uhthoff bei 33, nach Laan und Pickema bei »30 bis 50« Meterkerzen Beleuchtung. Die Sehschärfe war dann, nach Snellen's gleich zu besprechendem Prinzipe ausgedrückt, $V = 2$.

Die geringste Sehschärfe, wobei Snellen's quadratische Figur cc in 10 cm erkannt wurde, und welche nach Uhthoff $V = 0{,}0015$ entsprechen würde, fand dieser Autor für sich bei der Beleuchtung von 1 Kerze in 154 m, König sogar bei 1 Kerze in 363 m.

Die Intensität der minimalen Sehschärfe würde sich also zu der maximalen verhalten wie 1 : 783333 für den ersteren, wie 1 : 4260000 für den letzteren.

Für rotes Licht wäre die minimale Beleuchtung 0,1, d. h. eine Normalkerze in 19 m, für grünes und blaues Licht 0,01, d. h. eine Normalkerze in 60 m.

Es scheint uns jedoch fraglich, ob unter solchen Umständen überhaupt noch von »Sehschärfe« die Rede sein kann. Die Sehzeichen Snellen cc, in 10 cm aufgestellt, liefern Netzhautbilder, die Teile der Netzhaut bedecken, deren Formsinn außerordentlich verschieden ist. Wahrscheinlich werden diese Bilder erst mit Hilfe der Augenbewegungen erkannt, indem so der empfindlichste Teil der Netzhaut ihren Konturen entlang geführt wird, resp. das Auge so gedreht wird, dass die verschiedenen Teile des Bildes successive auf die Fovea centralis fallen. Dies ist aber dann kein normales Sehen mehr.

Nach H. Cohn (80) und Bruno Kolbe (83) soll Tageslicht 50 Meterkerzen entsprechen.

Ersterer betrachtet eine Beleuchtung von 10 Meterkerzen als das geringste noch zum Lesen taugliche Licht. — Nach Rosenthal nimmt die Sehschärfe, bei Abnahme der Beleuchtung, von 10 Meterkerzen an, erst

langsam bis auf 4 Meterkerzen ab, dann rascher, bis sie, bei $2^1/_2$ Meterkerzen, die unterste Grenze für das Lesen kleiner Schrift erreicht.

Die Kurven der Sehschärfe für monochromatische Beleuchtung verhalten sich derjenigen für weißes Licht sehr ähnlich: auch hier erst sehr rasches, dann langsames Ansteigen, endlich wieder Abfallen.

Nach Macé de Lépinay (77) und Nicati (77), haben, für Strahlen der längsten Wellen, bis zum Grün, die Koeffizienten der Sehschärfe nahezu denselben Wert. Von da an nimmt der Koeffizient gleicher Sehschärfe in gleichem Maße ab wie die gewählte Sehschärfe; oder: das Verhältnis zwischen der Sehschärfe und der objektiven Lichtintensität ist dasselbe für alle weniger brechbaren Strahlen als die grünen.

Für die brechbareren Strahlen, als die grünen, verändert sich die Sehschärfe langsamer mit der Intensität der Beleuchtung.

Auch Uhthoff findet, dass die Sehschärfe in grünem, blauem und violettem Lichte hinter derjenigen in weißem zurückbleibt. In gelbem Spektrallichte allein soll sie diese ein wenig übersteigen. Wie Macé de Lépinay und Nicati, so konstatiert auch Uhthoff, dass die Sehschärfe in blauem Lichte weniger Variationen unterworfen ist als im andersfarbigen.

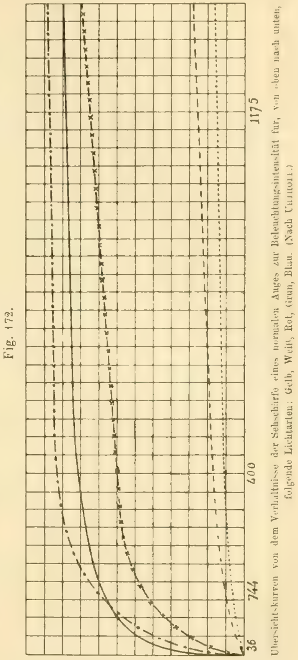


Fig. 172. Übersichtskurven von dem Verhältnisse der Sehschärfe eines normalen Auges zur Beleuchtungsintensität für, von oben nach unten, folgende Lichtarten: Gelb, Weiß, Rot, Grün, Blau. (Nach Uhthoff.)

Nach v. Brudzewski's Untersuchungen (133) mit weißen und farbigen Buchstaben auf schwarzem Grunde, ist die Sehschärfe für weiße Objekte größer als für farbige. So erhält er, bei indirektem Sonnenlichte, folgende maximale Grade der Sehschärfe:

Für Weiß = 1,8,
» Gelb = 1,75,
» Grün = 1,6,
» Rot = 1,6,
» Blau = 1,4.

In direktem Sonnenlichte wird die Sehschärfe für Weiß = 2,1, für Gelb = 2, für Grün, Rot und Blau = 1,8.

Bei sehr schwacher Beleuchtung dagegen, werden blaue Buchstaben auf schwarzem Grunde vor den roten erkannt. Letztere werden sichtbar erst wenn die Sehschärfe für Blau schon auf 0,07 gestiegen ist. Bei 4,9 Kerzen in 1 m Entfernung, ist die Sehschärfe für beide Farben dieselbe (0,13). Von da an steigt die Kurve für rotes Licht immer höher als die für blaues.

4. Der Kontrast, d. h. der Helligkeitsunterschied zwischen dem Sehobjekte und dem Grunde, auf welchem es erscheint, ist ebenfalls von großem Einfluss auf dessen Sichtbarkeit (Aubert 32).

Ein Objekt wird um so leichter erkannt, je mehr seine Lichtstärke von der des Grundes verschieden ist. Gesichtswinkel und Kontrast wachsen also im umgekehrten Verhältnisse. Außerdem ist interessant, zu beobachten, dass weiße Sehzeichen auf schwarzem Grunde merklich leichter erkannt werden, als schwarze auf weißem Grunde. So werden z. B., nach Aubert (65a), weiße Quadrate unter einem Gesichtswinkel von 55″, schwarze erst unter einem solchen von 68″, getrennt unterschieden.

Schließt man sehr große und sehr geringe Kontraste aus, so ist bei einer Differenz der Helligkeit des Objektes zur Umgebung von 43 bis 7, die Größe des Gesichtswinkels, unter welchem ein Punkt noch erkannt wird, sehr geringem Wechsel unterworfen (Aubert 65b).

Ein gelblicher Grund scheint der Unterscheidbarkeit noch günstiger zu sein als ein weißer, da, wie unter 3. bemerkt, die Sehschärfe in gelbem Lichte etwas größer ist als in weißem.

Nimmt der Kontrast ab, so muss die allgemeine Beleuchtung zunehmen, wenn die Sehschärfe nicht auch abnehmen soll. Kontrast und allgemeine Beleuchtung ergänzen sich also gegenseitig.

Setzt man die Helligkeit einer, nach König, mit Magnesiumoxyd bedeckten weißen Papierfläche = 100, so soll diejenige des hellsten Bristolpapieres = 96,3 sein, die des rein weißen Bristolkartons = 90,4, die des Grundes der Snellen'schen Sehproben = 83.

Die Helligkeit des schwarzen Sammets wäre nach gleicher Messung = 0,225, die schwarzen Bristolkartons = 2,6, die der Druckerschwärze = 3,7.

Nach Aubert ist das dunkelste Schwarz, das wir herstellen können, nur 57 mal dunkler als das hellste Weiß.

5. Die Sichtbarkeit der einzelnen Punkte an und für sich. Experimentiert man nicht mit so lichtstarken Punkten, dass deren Dimension auf dunklem Grunde gar nicht in Betracht kommt, sondern mit schwarzen oder weißen Punkten auf weißem oder schwarzem Grunde, so hat der Gesichtswinkel, unter welchem der einzelne Punkt erscheint, einen bedeutenden Einfluss auf den Distinktionswinkel zwischen zwei Punkten.

Mit Abnahme der Gesichtswinkel der Punkte muss ihre gegenseitige Entfernung zunehmen, damit sie noch getrennt erkannt werden. Dieser Einfluss ist viel ausgesprochener für Punkte als für Linien.

So muss, wenn der Gesichtswinkel weißer Punkte auf schwarzem Grunde um das Dreifache abnimmt, der Gesichtswinkel ihrer gegenseitigen Entfernung um das Achtfache zunehmen, für weiße Linien auf schwarzem Grunde nur um das Dreifache (Aubert).

6. Die Adaptation des Auges für die Beleuchtung, bei welcher die Untersuchung vorgenommen wird. Ein aus dem Dunkeln kommendes Auge wird durch helles Licht geblendet und in seiner Sehtüchtigkeit geschädigt. Umgekehrt können Nachbilder dieselbe beeinträchtigen, wenn das Auge von großer Helligkeit in relatives Dunkel tritt. Es ist deshalb für genaue Sehprüfungen angezeigt, das Auge während wenigstens einer Viertelstunde sich der Beleuchtung adaptieren zu lassen, bei welcher die Untersuchung vorgenommen werden soll.

7. Das Alter des Individuums hat auf den kleinsten Distinktionswinkel, resp. die Sehschärfe, einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss. Nach Vroesom de Haan (36) wäre die Sehschärfe im zehnten Lebensjahre der Sehschärfe, welche einem Gesichtswinkel von 1′ entspricht und mit 1 bezeichnet wird, um ein Zehntel überlegen ($V = 1{,}1$), während sie im achtzigsten Jahre auf 0,5 sinken soll.

Weitergehende Untersuchungen, welche unter Professor Sattler's Leitung von Boerma und Walther (110) über diese Frage angestellt worden sind, ergeben, dass die Sehschärfe vom vierzigsten Jahre an, wo sie 1 und mehr sein kann, gleichmäßig abnimmt, um mit dem achtzigsten Jahre im Mittel = 0,666 zu werden.

8. Die Dauer der Beobachtung. Unsere Untersuchungen haben dargethan, dass bei der momentanen Beleuchtung eines elektrischen Funkens im sonst dunklen Raume die Sehschärfe bedeutend geringer ist, als bei anhaltender Beleuchtung. Wenn auch das Auge die Richtung und die Entfernung des Sehzeichens kennt, zur Einstellung also keine Zeit bedarf, so genügt ihm doch die elektrische Entladung nicht, um irgendwie komplizierte Objekte zu unterscheiden. Die Augenbewegungen spielen eben beim Sehen eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Die Stelle des schärfsten Formsinnes ist von sehr geringer Ausdehnung. Jedenfalls müssen, um ein nicht ganz einfaches Netzhautbild zu analysieren, die verschiedenen Teile

desselben successive auf dieses Centrum der Fovea gebracht werden. Dazu bedarf es minimer Augenbewegungen, und diese erheischen eben eine gewisse Zeit (vgl. auch 127).

Aus A. Broca's und D. Sulzer's (145) Untersuchungen geht hervor, dass die Zeit, welche nötig ist, um ein Objekt zu erkennen, rascher zunimmt, als der Gesichtswinkel desselben abnimmt. So brauchten die Autoren z. B., um ihr Testobjekt (parallele Linien) unter einem Winkel von 3′ zu unterscheiden, 0,002 Sekunden, während das Erkennen desselben unter einem Winkel von 1′ 0,010 Sekunden, d. h. gerade 5 mal mehr Zeit erforderte.

9. Wie bei allen Funktionsprüfungen, so kommen auch bei der Sehprüfung die Intelligenz, die Übung, die Aufmerksamkeit, die moralische Disposition des Untersuchten in hohem Maße in Betracht. Schon bei der einfachen Unterscheidung von Punkten oder Linien, wird ein intelligenter, im Beobachten geübter, wohl ausgeruhter und aufgelegter Mensch, ceteris paribus, eine bessere Sehkraft aufweisen, als ein obtuser, ungeübter, ermüdeter. Dies ist nun ganz besonders der Fall, wenn, wie dies in der augenärztlichen Praxis häufig geschieht, mit komplizierten Sehzeichen, namentlich mit Buchstaben untersucht wird. Bei allen, aber namentlich bei wenig intelligenten oder schlecht aufgelegten Leuten, mit denen wir es in der Praxis eben häufig genug zu thun haben, müssen wir die Aufmerksamkeit während der Untersuchung energisch anregen. Es ist merkwürdig, wie sehr Faulheit die Sehschärfe zu beschränken im stande ist. Durch gehöriges Insistieren wächst dieselbe oft um das Doppelte. Wie wichtig es ist, die Aufmerksamkeit auf die Probeobjekte zu lenken, geht schon daraus hervor, dass dieselben durchgängig besser erkannt werden, wenn man sie mit dem Finger oder einem Stabe bezeichnet, als wenn man mit Worten allein darauf hinweist.

Was den Einfluss der Übung im Sehen, resp. der Vertrautheit mit den Prüfungsobjekten anbelangt, so ist bemerkenswert, dass man bei der Sehprüfung von gesunden Kinderaugen, mit Hilfe von Buchstaben, sehr häufig eine scheinbar geringere Sehschärfe findet, als bei älteren Leuten. Dies rührt offenbar daher, dass den ersteren solche Sehzeichen nicht so geläufig sind, wie den letzteren.

10. Die Durchsichtigkeit der Luft. Diese kommt namentlich in Betracht, wenn auf sehr große Distanzen experimentiert wird. Nebel, Staub, Rauch können die Sehschärfe aber auch auf wenige Meter schon messbar beeinträchtigen.

11. Endlich sei auch noch erwähnt, dass das Sehen mit beiden Augen zugleich schärfer ist, als das einäugige. Nicati setzt dasselbe der Verdoppelung der Beleuchtung gleich. — Laan und Pickema (130; l. c. S. 17) finden den Unterschied zwischen der monokularen und der binokularen Sehschärfe nicht ganz so groß.

Die klinische Bestimmung der Sehschärfe.

§ 136. Um der Definition entsprechend vorzugehen, müsste man die Sehschärfe bestimmen mit zwei Punkten von veränderlichem gegenseitigem Abstande. Die Netzhautbilder derselben sollten möglichst klein sein — mathematische Punkte können sie, wie wir gesehen haben, aus optischen Gründen nicht werden. Die Punkte müssten außerdem eine solche Lichtintensität besitzen, dass sie auch von Augen mit sehr herabgesetzter Sehkraft wahrgenommen würden.

Die Lichtintensität, deren solche Augen bedürften, möchte jedoch leicht so hoch sein, dass sie ein gesundes Auge blenden würde. Umgekehrt möchte die einem normalen Auge günstige Lichtstärke der Punkte für ein pathologisches Auge so ungenügend sein, dass es dieselben gar nicht mehr wahrnehmen würde.

Man müsste also die Lichtintensität der zur Sehprüfung verwendeten Punkte für die niedrigeren Grade der Sehschärfe erhöhen können, wie man unwillkürlich den Druck der Spitzen des Tasterzirkels da verstärkt, wo die herabgesetzte Empfindlichkeit der Haut eine größere gegenseitige Entfernung derselben verlangt.

Diesem Erfordernisse sucht man nun in der Praxis, wo man mit schwarzen Objekten auf weißem Grunde experimentiert, dadurch gerecht zu werden, dass man die Netzhautbilder der Punkte in gleichem Maße vergrößert, wie der zu ihrem getrennten Erkennen nötige gegenseitige Abstand zunimmt. Man verändert sozusagen die Entfernung der gegebenen Punkte von dem zu untersuchenden Auge. Auf diese Weise nehmen, im Netzhautbilde, ihr gegenseitiger Abstand und ihr Durchmesser gleichmäßig ab und zu.

Oder, was auf dasselbe herauskommt: Statt sich eines einzigen Sehzeichens von konstanter Größe und veränderlicher Entfernung vom Auge zu bedienen, lässt man die Entfernung, auf welche die Prüfung vorgenommen wird, konstant, und verwendet Sehzeichen von verschiedener Größe, so zwar, dass dieselben dem auf verschiedene Entfernung aufgestellten Grundsehzeichen vollkommen entsprechen. Die Punkte, wie deren Zwischenräume, müssen also auf den dabei angegebenen Entfernungen unter dem gleichen Gesichtswinkel erscheinen, das Verhältnis der Durchmesser der Punkte zu ihren Zwischenräumen muss überall dasselbe sein.

Nach Snellen's Vorgang macht man den gegenseitigen Abstand der Punkte gleich ihrem Durchmesser.

Gewöhnlich verwendet man nun allerdings zur Prüfung der Sehschärfe nicht einfache Punkte, sondern Linien. D e r g e g e n s e i t i g e A b s t a n d d e r L i n i e n, o d e r d e r i n e i n e r L i n i e f r e i g e l a s s e n e Z w i s c h e n r a u m, i s t j e d o c h i m m e r g l e i c h d e m D u r c h m e s s e r d e r L i n i e.

Dieser Umstand ist von größter Bedeutung. In der That hängt die Erkennbarkeit des Zwischenraumes zwischen zwei Punkten, wie schon gesagt, nicht nur von dem Durchmesser desselben, resp. von dem Gesichtswinkel ab, unter welchem derselbe erscheint, sondern, bis zu einem gewissen Grade, auch von der Ausdehnung der Punkte oder Striche, welche den Zwischenraum begrenzen.

Nehmen wir z. B. einen 8 cm langen Strich von 1 cm Breite, und unterbrechen ihn in der Mitte durch eine 1 cm weite Lücke, so wird dieselbe in größerer Entfernung erkannt, als wenn wir die sie begrenzenden Striche durch quadratische Punkte von 1 cm Seite ersetzen.

Erkennt andererseits jemand ein Intervall von 7 mm in einem schwarzen Striche von ebenfalls 7 mm Durchmesser, in einer Entfernung von 32,5 m, und reduziert man die Dicke des Striches, bei gleichem Intervalle, auf die Hälfte (3,5 mm), so wird dasselbe nur mehr auf 26,5 m erkannt, d. h. die Sichtbarkeit der Lücke verhält sich im ersten zu der im zweiten Falle wie 1 : 0,815.

Experimentiert man mit dünneren Strichen in gleicher Weise, so wird der Unterschied geringer.

Wird die Lücke des Ringes Nummer 1 meiner später zu besprechenden Sehproben (Fig. 177, in einer Entfernung von 6,9 m erkannt, und bringt man die gleich weite Lücke in einem 10 mal umfangreicheren Ringe (Nummer 0,1) an, so unterscheidet sie dasselbe Auge auf 15,4 m Entfernung. Die Sichtbarkeit des gleichen Intervalles verhält sich also im ersten zu der im zweiten Falle wie 1 : 2,26.

Zu beachten ist, dass die Sichtbarkeit, wenn auch im zweiten Falle bedeutend größer als im ersten, doch nicht etwa den Flächen der Lücke in beiden Fällen gleich kommt. Dieselben verhalten sich wie 1 : 10.

Jedenfalls geht aber aus den angeführten Thatsachen hervor, dass man bei der Untersuchung der Sehschärfe nicht allgemein von Punkten, Strichen und Intervallen sprechen darf, sondern, außer den Beleuchtungsverhältnissen derselben, auch ihre absolute und relative Ausdehnung in Betracht ziehen muss.

Wenn nun im folgenden von Punkten, Strichen und Zwischenräumen die Rede ist, so ist darunter verstanden, dass die Durchmesser derselben untereinander gleich sind.

§ 137. Als Einheit wird nun, in der Praxis, der Sehschärfe ein Gesichtswinkel von einer Minute zu Grunde gelegt. Diese Maßeinheit wurde im Jahre 1862, bei Anlass des Ophthalmologenkongresses in Paris, gleichzeitig von Snellen und von Giraud-Teulon in die Augenheilkunde eingeführt, und hat sich darin allgemein eingebürgert.

Ein Auge also, das zwei Punkte gerade noch unter einem Gesichtswinkel von 1′ getrennt zu unterscheiden vermag, besitzt eine Sehschärfe

$V=1$; unterscheidet es sie auch noch unter einem Winkel von einer halben Minute $\left(\frac{1'}{2}\right)$, so ist seine Sehschärfe $= 2$, bedarf es aber, zur Unterscheidung der beiden Punkte eines Winkels von 2 Minuten, so ist seine Sehschärfe $= \frac{1}{2}$. Mit einem Worte: Der Grad der Sehschärfe wird ausgedrückt durch eine Zahl, die der Zahl der Minuten des kleinsten Unterscheidungswinkels umgekehrt proportional ist.

Nun ist die Tangente der Minute für den Radius $1 = 0{,}00029089$, sagen wir $0{,}000291$. Das heißt: um unter einem Gesichtswinkel von einer Minute zu erscheinen, muss sich der gegenseitige Abstand zweier Punkte voneinander zu ihrer Entfernung vom Auge verhalten wie $0{,}000291$ zu 1, oder wie $2{,}91$ zu 10000.

Auf diesem Maße beruhen die gewöhnlichen Sehproben, die wir gleich näher besprechen werden. Die Durchmesser der Punkte, Linien und Interlinien, aus denen sie bestehen, erscheinen, in der beigegebenen Entfernung, unter einem Winkel von $1'$, d. h. sie sind $0{,}000291$ mal kleiner als diese Entfernung. Für 10 m ist dieser Durchmesser beispielsweise $= 2{,}91$ mm.

Wir haben nun eingangs für die Sehschärfe im allgemeinen den Ausdruck gefunden:

$$v = \frac{d}{s},$$

wo d bedeutet: die Entfernung der zwei Punkte vom Auge, s ihren gegenseitigen Abstand (das Minimum separabile), also $\frac{d}{s}$ die umgekehrte Tangente des kleinsten Unterscheidungswinkels. — Für die Einheitssehschärfe V ist also $\frac{D}{S}$ die umgekehrte Tangente einer Minute.

Irgendwelche Sehschärfe v verhält sich offenbar zur Einheitssehschärfe V wie:

$$v : V = \frac{d}{s} : \frac{D}{S}.$$

Ist für beide die Entfernung der Objektpunkte vom Auge dieselbe, $d = D$, so wird

$$v : V = \frac{1}{s} : \frac{1}{S},$$

also

$$v = \frac{V \cdot S}{s}$$

und, da V, die Einheitssehschärfe, $= 1$, so ist

$$v = \frac{S}{s}.$$

In Worten: Eine gesuchte Sehschärfe ist gleich dem gegenseitigen Abstande zweier Punkte, die auf die gegebene Entfernung unter dem Gesichtswinkel einer Minute erscheinen, dividiert durch den Abstand, den sie haben müssen, um von dem fraglichen Auge gerade noch getrennt unterschieden zu werden.

Ist andererseits der gegenseitige Abstand der beiden Punkte derselbe, $s = S$, so verhalten sich

$$v : V = d : D.$$

Es wird

$$v = \frac{Vd}{D}.$$

Und, da $V = 1$,

$$v = \frac{d}{D}.$$

D. h.: die Sehschärfe eines Auges ist gleich der Entfernung d, in welcher es zwei Punkte getrennt unterscheidet, dividiert durch die Entfernung D, in welcher dieselben unter einem Winkel von einer Minute erscheinen. So ist die bekannte SNELLEN'sche Formel für die Sehschärfe abzuleiten.

Dies Prinzip der Messung der Sehschärfe hat zu erstaunlich vielen Missverständnissen, Diskussionen, Kontroversen Veranlassung gegeben, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil, was wir eben als Einheitssehschärfe bezeichnet haben, normale Sehschärfe genannt worden ist. Da hat es denn Autoren gegeben, die verkündeten, sie hätten Leute entdeckt, die z. B. SNELLEN's Sehproben in 2, 3, ja mehr denn 3 mal größerer Entfernung, d. h. unter einem ebenso vielmal kleineren Gesichtswinkel unterschieden, als das Normalauge, und die glaubten, das Maß der Sehschärfe müsse entsprechend erhöht, die Sehproben entsprechend verkleinert werden. SNELLEN hatte gut erklären, er habe unter seiner Einheitssehschärfe weder die normale, noch die maximale Sehschärfe, sondern nur eine mittlere Sehschärfe verstanden, wie sie sich aus der Untersuchung einer großen Zahl von Leuten verschiedenen Alters bei der gewöhnlichen Beleuchtung eines Konsultationszimmers ergiebt. Die Einwände und Vorschläge hörten nicht auf; als ob es überhaupt möglich wäre, für die Sehschärfe eine Norm aufzustellen, welche ein Auge erreichen müsste, um nicht pathologisch zu erscheinen, oder die umgekehrt das Vorhandensein pathologischer Zustände an sich schon ausschlösse.

Jeder Augenarzt hat doch wohl immer eingesehen, dass, wie alle Funktionen, so auch die Sehschärfe bei demselben Individuum schon mit einem gewissen Alter ihr Maximum erreicht, vor und nachher geringer ist, ohne deshalb abnorm zu sein. Und wenn wir, namentlich bei gesunden jungen Leuten $V = 1$ finden, so hält uns das durchaus nicht

ab, zu versuchen, ob durch Korrektion optischer Fehler die Sehschärfe nicht noch bedeutend verbessert werden könne. Ja wo dies nicht gelingt, da denken wir fast unwillkürlich an das Vorhandensein eines pathologischen Zustandes, eben weil wir in diesem Alter eine die Einheit übersteigende Sehschärfe erwarten. Umgekehrt beunruhigt uns ein $V = 0{,}8$ bei einem Sechzigjährigen an und für sich noch nicht, steht er doch nicht mehr in der Blüte seiner Funktionen. Wir brauchen wirklich die Beispiele nicht zu vermehren, höchstens zu erinnern an all die Umstände, welche wir oben schon als die Sehschärfe beeinflussend aufgeführt haben. Jedermann wird einsehen, dass eine Normalsehschärfe aufzustellen ein eitles Unterfangen, darüber zu streiten mehr als unnütz ist. Um aber diesen Diskussionen die Spitze abzubrechen, ersetzen wir eben den Ausdruck der Normalsehschärfe durch den der Einheitssehschärfe, oder Sehschärfeeinheit.

Man darf sich allerdings von einem anderen Standpunkte aus fragen, ob unsere Einheit, d. h. die Minute, als Maß der Sehschärfe, glücklich gewählt sei. Diese Frage glauben wir mit »ja« beantworten zu dürfen. In der That geben die von SNELLEN darauf gegründeten gewöhnlichen, noch mehr MONOYER's Decimalbrüche, eine sehr praktische Serie von Sehschärfegraden. Den einfachen Zahlen folgend, von 0,1 bis 1 und darüber, steigen die letzteren, von den niedrigen zu den höchsten Graden der Sehschärfe, mit abnehmenden Intervallen, wie wir sie für die Praxis nicht passender wünschen könnten.

Das einzige, was gegen die bisherige Einheit etwa einzuwenden wäre, ist, dass sie, nicht wie manche wähnen, zu klein, sondern zu groß ist. In der That, da sie ungefähr der, unter den gewöhnlichen Verhältnissen eines Konsultationsraumes gewonnenen, mittleren Sehschärfe gesunder Augen entspricht, so liegt es in der Natur der Sache, dass wir Augenärzte, die wir meist mit kranken Augen zu thun haben, in den weitaus häufigsten Fällen Sehschärfegrade antreffen, die geringer sind als die Einheit, also durch Brüche ausgedrückt werden.

Während also gewöhnlich zum Messen eine Einheit gewählt wird, welche viel kleiner ist, als die zu messenden Gegenstände, damit das Resultat der Messung womöglich eine ganze Zahl darstelle, bedienen wir uns einer Einheit, die das gewöhnliche Maß beträchtlich übertrifft, so dass unsere Messresultate eben meistens Brüche sind.

Diesem Nachteile wäre aber leicht dadurch abzuhelfen, dass man die Einheit 10 mal verkleinerte, das 0,1 zur Einheit erhöbe, statt 1 10 setzte, den Gesichtswinkel von einer Minute durch den von 10 Minuten ersetzte. Damit würde an unseren Sehproben und Untersuchungsmethoden nichts geändert. Die Nummern der ersteren allein müssten mit 10 dividiert, die nach der bisherigen Methode ausgedrückten Sehschärfegrade mit 10

multipliziert werden. So würde beispielsweise die decimale Serie, statt von 0,1 bis 2, gehen von 1 bis 20.

D. Sulzer (147), der zuerst auf das Ungereimte unserer hohen Maßeinheit hingewiesen hat, schlägt vor, bei der Einführung des Decimalsystems in die Kreiseinteilung, den fünften Teil des Hundertstels des Quadranten, sagen wir des Centiquadranten, der Messung der Sehschärfe als Einheit zu Grunde zu legen.

Nun ist der hundertste Teil des Quadranten $0{,}9^{0} = 54'$. Das Fünftel desselben, $10',8$, wäre also etwas mehr denn 10 mal so groß wie unsere bisherige Einheit; und die entsprechende Sehschärfe wäre, nach unserer Art ausgedrückt, $= 0{,}0926$. Alle höheren Sehschärfegrade würden dann also ganze Zahlen darstellen.

Nach Sulzer sollte dieser Einheitsgesichtswinkel den fünften Teil der Höhe des Sehzeichens bilden, dessen gesamte Höhe also von einem Centiquadranten umspannt würde. Er verhielte sich also zu dem Gesichtswinkel der der Sehschärfe 0,1 entsprechenden Snellen'schen Buchstaben, wie $54 : 50 = 1{,}08 : 1$.

§ 138. Theoretisch könnte man nun bei der Prüfung der Sehschärfe in folgender Weise zu Werke gehen: Man würde sich eines Sehzeichens bedienen, welches, wenn auch nicht aus zwei einzelnen Punkten (wir werden gleich sehen, warum dies nicht angeht), so doch in einem Objekte bestände, dessen Erkennbarkeit auf der getrennten Empfindung zweier Punkte oder Linien beruhte. Daran wäre vermerkt die Entfernung D, in welcher deren Intervall unter einem Winkel von einer Minute erscheint. — Dieses Sehzeichen, oder Testobjekt, würde man dem zu untersuchenden Auge so weit nähern, bis es dasselbe in seinen Details zu erkennen im stande wäre. Wäre die Entfernung D beispielsweise = 5 m, die gefundene Entfernung d = 4 m, so wäre die Sehschärfe des untersuchten Auges $= \frac{4}{5}$.

Auf diese Weise gehen wir in der That auch vor, wenn es sich um geringere Sehschärfegrade als 0,1 handelt. Für höhere Grade aber wäre diese Methode nicht sehr geeignet. Man zieht es denn auch vor, die Entfernung, in welcher die Untersuchung vorgenommen wird, konstant zu lassen, und dagegen die Größe des Sehzeichens, genauer den Wert, den wir in den vorausgegangenen Betrachtungen mit s bezeichnet haben, zu verändern. Da dies jedoch an ein und demselben Objekte schwer zu bewerkstelligen wäre, so wählt man ein für allemal Sehzeichen von verschiedener Größe, und setzt dazu die Entfernung, in welcher ihre Details unter dem Einheitsgesichtswinkel von $1'$ erscheinen. Diese Zahl (D) dividiert in die Entfernung (d), in welcher die Sehzeichen aufgestellt sind, ergiebt dann die gesuchte Sehschärfe. — Steht die »Probetafel« mit den Testobjekten z. B. in

5 m, so muss der Untersuchte die mit Nummer 5 bezeichneten Figuren erkennen, um $V = 1$ zu besitzen. Sieht er nur die der Nummer 6, so ist sein $V = \frac{5}{6} = 0{,}83$; sieht er dagegen noch die der Nummer 4, so ist sein $V = \frac{5}{4} = 1{,}25$.

Enthält die Probetafel nur eine sehr beschränkte Zahl von Sehzeichen verschiedener Größe, so muss man eben die dazwischenliegenden Grade der Sehschärfe so bestimmen, dass man die Entfernung d verändert, den Untersuchten der Tafel, oder die Tafel dem Untersuchten nähert, resp. die beiden voneinander entfernt.

Nach diesem Prinzipe hat Snellen seine allbekannten, gleich noch näher zu besprechenden Probetafeln konstruiert. In Fußen ausgedrückt entsprechen deren Optotypen in folgenden Entfernungen der Einheitssehschärfe:

200, 100, 70, 50, 40, 30, 20.

Die Ausgaben nach dem Metersysteme enthalten folgende Nummern: 60, 36, 24, 18, 12, 8, 6, woran sich in den »Leseproben« noch die Nummern 5, 4 und 3 anschließen, im ganzen 10 verschiedene Größen von Sehzeichen (Fig. 173)[1]. Der Autor hat diese Distanzen offenbar deshalb gewählt, weil die ersteren auf 20 Fuß, die letzteren auf 6 Meter, für die entsprechenden Sehschärfegrade einfache Brüche ergeben:

$$6/60,\ 6/36,\ 6/24,\ 6/18,\ 6/12,\ 6/6,\ 6/5,\ 6/4,\ 6/3,$$

resp. $$1/10,\ 1/6,\ 1/4,\ 1/3,\ 1/2,\ 1,\ 1/0.8,\ 1/0.6,\ 1/0.5,$$

oder in Decimalen:

0,1, 0,166, 0,25, 0,33, 0,5, 0,75, 1, 1,2, 1,5, 2[2].

Snellen hält jedoch sehr darauf, dass man den die Sehschärfe bezeichnenden Bruch nicht reduziere, nicht von $V = 1$, sondern von $V = \frac{20}{20}$ oder $\frac{6}{6}$ spreche, nicht $V = 1/2$ oder 0,5, sondern $\frac{20}{40}$ oder $\frac{6}{12}$ setze, damit gleich auch zu ersehen sei, in welcher Entfernung die Sehprüfung stattgefunden habe. Dies mag seinerzeit auch ratsam gewesen sein. Jetzt aber, da es, wie wir gleich sehen werden, als Regel gilt, die Prüfung der Sehschärfe auf 5 bis 6 m Entfernung vorzunehmen, steht der Reduktion dieser Brüche nichts mehr im Wege.

1) Die letzte Ausgabe von Snellen's Sehproben enthält zwei Serien, die eine für 60, 24, 18, 12, 8 und 6 m, die andere für 50, 20, 15, 10, 6,6 und 5 m.

2) Die neue Ausgabe von Snellen's Probebuchstaben enthält, wie Fig. 173 zeigt, auch Optotypen für 5 m Entfernung berechnet, welche folgende Sehschärfegrade ergeben: $5/50$, $5/30$, $5/20$, $5/15$, $5/10$, $5/6$, oder in Decimalen: 0,1, 0,167, 0,25, 0,33, 0,5, 0,83.

So können wir denn auch MONOYER (62) nur beipflichten, der im Jahre 1875 Sehproben hergestellt hat, deren Dimensionen so gewählt sind, dass die entsprechenden Sehschärfegrade, in der Entfernung von 5 m, den einfachen Decimalbrüchen entsprechen. Schaltet man zwischen 0,1 und 0,2, deren Intervall etwas zu groß ist, Nummer 0,15 ein, und führt man MONOYER's Serie, die nur bis $V = 1$ geht, mit 1,25, 1,5, 1,75 bis $V = 2$ weiter, so erhält man eine äußerst praktische decimale Serie von folgenden 15 Sehschärfegraden:

0,1, 0,15, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1, 1,25, 1,5, 1,75, 2.

SNELLEN (129) wirft MONOYER's Serie vor, die Intervalle seien am Anfange zu groß, gegen das Ende zu klein. Dem ersteren Einwande ist durch den Zusatz von Nummer 0,15 begegnet. Dies ist vollauf genügend, ist es doch bei stark herabgesetzter Sehschärfe unmöglich, dieselbe mit großer Genauigkeit zu bestimmen. Bei höheren Graden dagegen unterscheidet man, vorausgesetzt, dass man mit genauen Sehproben untersucht, sehr wohl noch zwischen 0,8 und 0,9, ja zwischen 0,9 und 1. Dies ist allerdings nicht möglich bei der Prüfung mit Buchstaben, zwischen denen, trotz gleicher Größe, Unterschiede in der Erkennbarkeit bestehen, die nicht nur das Verhältnis von 0,9 zu 1, sondern sogar das von 0,6 zu 1 überschreiten.

Zu leichterer Vergleichbarkeit stellen wir hier die beiden Serien, auf Hundertstel reduziert, übereinander:

SNELLEN's Serie:	10,	17,	25,	33,		50,	66,				100,	120,	150,		200.
Decimale Serie:	10,	15,	20,	30,	40,	50,	60,	70,	80,	90,	100,	125,	150,	175,	200.

Daraus erhellt, dass SNELLEN's Serie von 0,1 bis 0,5 fünf, die decimale sechs verschiedene Grade aufweist. Von 0,5 bis 1 hat die erstere nur mehr zwei, die letztere dagegen fünf Stufen. Von der Einheits- bis zur doppelten Sehschärfe enthält SNELLEN's Serie drei, die decimale vier verschiedene Grade.

Interessanter noch, als das Intervall zwischen den in den beiden Skalen enthaltenen Sehschärfegraden, ist es, das Verhältnis zu betrachten, in welchem je zwei benachbarte Gruppen zu einander stehen.

Dasselbe ist nun folgendes:

SNELLEN { Sehschärfe: $\frac{6}{60}$, $\frac{6}{36}$, $\frac{6}{24}$, $\frac{6}{18}$, $\frac{6}{12}$, $\frac{6}{8}$, $\frac{6}{6}$, $\frac{6}{5}$, $\frac{6}{4}$, $\frac{6}{3}$.
Verhältnis: 1,66, 1,5, 1,32, 1,5, 1,5, 1,33, 1,2, 1,25, 1,3.

Decimale Serie { Sehschärfe: 0,1, 0,15, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7,
Verhältnis: 1,5, 1,33, 1,5, 1,3, 1,25, 1,2, 1,16, 1,14.
Sehschärfe: 0,8, 0,9, 1, 1,25, 1,5, 1,75, 2.
Verhältnis: 1,125, 1,11, 1,125, 1,2, 1,16, 1,14.

Wie man sieht, ist das Verhältnis in SNELLEN's Serie, wenn auch etwas größer bei den niedrigen, als bei den höheren Graden der Sehschärfe, doch

ein sehr unregelmäßiges, während es in der decimalen Serie von unten nach oben ziemlich regelmäßig abnimmt. Ohne die Einschaltung des 0,15 wäre die Abnahme bis $V = 1$ eine durchaus gleichmäßige.

Ein solches, von den niedrigen zu den höheren Graden der Sehschärfe stetig abnehmendes Verhältnis zwischen denselben entspricht aber gerade den Bedürfnissen der Praxis, denn, wie wir eben bemerkt haben, je besser die Sehschärfe ist, desto besser gelingt es, auch kleine Unterschiede derselben zu bestimmen, während ein schlechtes Sehvermögen eben keine so genaue Prüfung zulässt.

Von der Einheit aufwärts, d. h. zwischen den vier Stufen von 1 bis 2, ist allerdings das Verhältnis wieder etwas größer, als von 0,9 zu 1, jedoch nicht zu groß für die Erfordernisse der Praxis.

Es versteht sich von selbst, dass die Nummern der erwähnten decimalen Serie von Prüfungsobjekten nur dann den Grad der Sehschärfe angeben, wenn die Untersuchung in der geforderten Distanz (5 m) vorgenommen wird. Für andere Entfernungen findet die Sehschärfe eben, wie bei Snellen's Tafeln, ihren Ausdruck in einem gewöhnlichen Bruche, dessen Zähler die Untersuchungsdistanz, der Nenner die jeder Nummer entsprechende Einheitsdistanz ist. Es ist deshalb wünschenswert, den Nummern der Decimalprobetafeln auch die zugehörige Entfernung beizugeben.

Im Jahre 1867 hat John Green (44) vorgeschlagen, die verschiedenen Nummern der Probetafel einer g e o m e t r i s c h e n R e i h e anzupassen, so dass das Verhältnis zwischen zwei benachbarten Größen von Sehzeichen immer dasselbe wäre. Als Faktor wählte er $\sqrt[3]{0,5} = 0,795$. Mit dieser Zahl ist also der Durchmesser eines Sehzeichens zu multiplizieren, um den des nächst kleineren, zu dividieren, um den des nächst größeren zu finden.

So bilden Green's »Grotesque«-Buchstaben, die derselbe als Sehzeichen gewählt hat, folgende Reihe, deren Zahlen allerdings etwas abgerundet sind:

200, 160, 126, 100, 80, 64, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12,5, 10, 8, 6,25, 5, 4, 3, 2,5, 2, 1,5, 1,25, 1.

Später (1878 und 1900; 68 und 141) hat sich Javal Green's Vorschlag angeschlossen und seinen Sehproben den konstanten Faktor $\sqrt{2}$, d. h. 1,41 zu Grunde gelegt. Die den verschiedenen Optotypen entsprechenden Entfernungen würden z. B. sein:

40, 28, 20, 14, 10, 7, 5, 3,5 m,

und in 5 m Entfernung ungefähr folgenden Sehschärfegraden entsprechen:

0,125, 0,16, 0,25, 0,35, 0,5, 0,43, 1, 1,4.

Sulzer (138) wählte als Faktor 0,8 und konstruierte damit Optotypen für folgende Entfernungen:

50, 40, 30, 25, 20, 12, 10, 8, 6, 5 m,

welche in 5 m Entfernung ungefähr folgende Sehschärfegrade ergeben:

0,1, 0,125, 0,15, 0,2, 0,25, 0,4, 0,5, 0,6, 0,8, 1.

Zur Bestimmung höherer Grade der Sehschärfe, hat der Autor seine Tafel um die Hälfte reduziert, und somit für die Entfernung von 5 m folgende Serie erhalten: 0,2, 0,25, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,6 und 2.

Die Anordnung der Optotypen nach einer geometrischen Reihe soll den Vorteil haben, dass das Steigen oder Fallen von einer Nummer zur nächstfolgenden überall derselben Zu- resp. Abnahme des Sehvermögens entspricht, welches auch die Entfernung sei, in welcher die Tafel zur Verwendung kommt. So hat z. B. Javal (141) nach seinem Prinzipe Sehproben für ganz kurze Entfernung herausgegeben.

Wir haben aber eben auseinandergesetzt, warum ein gleichmäßiges Steigen der Probeobjekte in der Praxis durchaus nicht wünschenswert ist, und werden gleich sehen, warum die Sehprüfung nicht auf eine kürzere Entfernung als 5 m vorgenommen werden soll.

Dies empfiehlt sich aus verschiedenen triftigen Gründen:

1. Wie wir gleich eingangs dieses Kapitels gezeigt haben, ist die Bestimmung der Sehschärfe mittelst des Gesichtswinkels nur dann zulässig, wenn die Entfernung des optischen Centrums von der Netzhaut (g'') in den untersuchten Augen als gleich betrachtet werden kann, und dies ist der Fall höchstens dann, wenn die Akkommodation entspannt ist, und die nötigen Korrektionsgläser im vorderen Brennpunkte, d. h. 13 mm vor der Hornhaut stehen. Will man von dem Gebrauche der Mydriatica abstehen, so erhält man die Entspannung der Akkommodation noch am ehesten beim Blick in große Entfernung.

2. Unter diesen Umständen (Akkommodationsruhe und Blick in die Ferne) hat man aber außerdem noch den großen Vorteil, dass das zum deutlichen Sehen erforderliche Glas das Korrektionsglas der Refraktion des untersuchten Auges ist. Man bestimmt also gleichzeitig die Sehschärfe und die Refraktion des Auges, und beide in rationellster und einfachster Weise.

3. Je größer die Entfernung der Probetafel, desto weniger störend ist der Einfluss, den kaum zu vermeidende Veränderungen in der Lage des Kopfes des Patienten, oder Ungenauigkeiten der Stellung des Korrektionsglases auf die Sehprüfung ausüben können.

4. Mit der Entfernung wächst auch die Dimension der Prüfungsobjekte (in 5 m ist tang 1' = 14,5 mm, in 33 cm nur 0,96 mm). Dieselben können also um so leichter mit der nötigen Genauigkeit hergestellt werden.

Es ist selbstverständlich, dass sich die Prüfungsobjekte von ihrem Grunde möglichst scharf abheben müssen. Man wählt sie am besten schwarz auf weißem Grunde. Nur muss das Schwarz möglichst dunkel, das Weiß

möglichst hell sein. Außerdem darf weder das eine noch das andere direkt reflektieren, die Probetafeln müssen matt, weder mit Firniss bestrichen, noch mit Glas bedeckt sein.

Man hat versucht, die Optotypen auf matte Porzellanplatten zu malen, zu ätzen, darein zu gravieren (JAVAL, E. LANDOLT, PFLÜGER, COHN u. a.). Solche Tafeln können auch von hinten, d. h. mit durchfallendem Lichte, beleuchtet werden, und sollten, mit Wasser und Seife gereinigt, stets frisch und sauber erscheinen. Leider thut aber diese Reinigung selbst mit der Zeit der Schwärze, ja den Konturen der Optotypen Eintrag. Andererseits sind solche Porzellantafeln so zerbrechlich und kommen so teuer zu stehen, dass es geratener ist, die Sehproben auf festes weißes Papier zu drucken und häufig zu erneuern.

Von großer Wichtigkeit ist es, die Sehprüfung bei konstanter und ziemlich intenser Beleuchtung vorzunehmen. Da das Tageslicht sehr veränderlich ist [1]) und wir auch noch zu später Stunde unsere Kunst ausüben, so müssen wir dazu künstliches Licht verwenden. Die Sehschärfe erreicht nun nach dem oben Gesagten, für gesunde Augen, ihr Maximum bei einer Beleuchtung von 35 Normalkerzen in 1 m Entfernung. Da wir aber in der Praxis häufig mit Augen zu thun haben, die für sehr starkes Licht krankhaft empfindlich sind, so ist, für klinische Untersuchungen, eine geringere Beleuchtung der Sehproben vorzuziehen. Geht doch aus Fig. 172 hervor, dass auch bei merklich unter der maximalen liegenden Beleuchtung die Sehschärfe nicht bedeutend sinkt.

Als Lichtquelle empfiehlt sich, bis auf weiteres, wohl am besten ein Auerbrenner mit versilbertem, parabolischem Reflektor, in ungefähr 50 cm Entfernung von der Probetafel. Der Reflektor hat außerdem den Vorteil, das untersuchte Auge gegen Blendung zu schützen.

Da nun solches Licht sich auf eine kreisförmige und nicht oblonge Oberfläche verbreitet, so ist es angezeigt, die Sehproben nicht, wie üblich, auf ein Rechteck zu drucken, das 3 bis 4 mal höher ist als breit, sondern auf eine kreisförmige oder doch wenigstens quadratische Fläche. Die oblonge Form ist schon deswegen ungeeignet, weil sie von den großen Sehzeichen nur eine ganz ungenügende, von den kleinen eine viel zu große Zahl aufzunehmen gestattet.

Wo man kein Normallicht zur Verfügung hat, da mag, nach SNELLEN's Vorschlag, die Sehschärfe des Untersuchers als Photometer dienen. Sei dessen Sehschärfe bei normaler Beleuchtung = 1,25, bei der fraglichen Beleuchtung = 0,9, und die des Untersuchten bei letzterer Beleuchtung = 0,5,

1) Nach H. COHN kann die Tagesbeleuchtung in wenigen Minuten von 19 bis 106 Meterkerzen wechseln. Nach demselben Autor soll das Licht eines reinen Himmels der Sehschärfe weniger günstig sein, als das eines leicht bewölkten.

so ist dessen wirkliche Sehschärfe $= \frac{1,25 \times 0,5}{0,9} = 0,67$. Mit einem Worte, eine bei unbekannter Beleuchtung gefundene Sehschärfe muss multipliziert werden mit dem Bruche, der den Einfluss dieser Beleuchtung auf die bekannte Sehschärfe des Beobachters ausdrückt.

Der Raum, in welchem die Untersuchung der Sehschärfe vorgenommen wird, ist am besten etwas dunkel zu halten. In keinem Falle darf dessen Beleuchtung stärker sein, als das auf die Sehzeichen projizierte Licht. Das zu untersuchende Auge muss gegen störende Reflexe geschützt werden.

Von den Optotypen, oder Objekten zur Untersuchung der Sehschärfe. im speziellen.

§ 139. Man könnte erwarten, dass Skalen, bestehend aus Gruppen von je zwei schwarzen Punkten auf weißem Grunde, mit nach obigen Regeln angeordnetem, gegenseitigem Abstande, die einfachsten und richtigsten Objekte zur Prüfung der Sehschärfe darstellen würden. Leider wären dieselben in der Praxis jedoch kaum verwendbar. Einmal kann auch ein geübter Beobachter nur sehr unbestimmt angeben, wann er anfängt, zwei Punkte getrennt, und nicht mehr als einen einzigen Eindruck wahrzunehmen, namentlich wenn er zum voraus weiß, dass er zwei Punkte vor sich hat. Sodann wären die Antworten der Patienten mit dieser Methode kaum zu kontrollieren.

Geleitet von der Erfahrung, dass zwei schwarze Punkte auf weißem Grunde, wenn sie an der Grenze der Erkennbarkeit angelangt sind, den Eindruck eines länglichen grauen Viereckes machen, habe ich im Jahre 1876 folgende Objekte zur Sehprüfung konstruiert. Sie bestanden einerseits aus je zwei schwarzen quadratischen Punkten auf weißem Grunde, getrennt durch einen Zwischenraum, der gleich war der Dimension eines derselben, andererseits aus grauen Rechtecken von der Dimension dreier Punkte.

Das Grau der Rechtecke war gleich dem Grau, das ich auf dem Kreisel durch Mischung von zwei Teilen des Schwarz der Punkte mit einem Teil des Weiß des Grundes erhalten hatte.

Auf der Tafel wechselten Punkte mit Rechtecken in unregelmäßiger Weise miteinander ab. So konnte der Untersuchte, wenn er nicht deutlich sah, nicht wissen, ob er Punkte oder Rechtecke vor sich habe.

Um die Prüfung der Sehschärfe auf eine bestimmte Entfernung vornehmen zu können, verwandte ich Punkte von verschiedener Größe und von verschiedenem relativem Abstande. Sie waren radienförmig angeordnet, die kleineren dem Centrum am nächsten, die größeren immer weitere Kreise bildend. So war es möglich, mit denselben Objekten, außer der Sehschärfe und der Refraktion im allgemeinen, auch den Astigmatismus zu bestimmen. In der

auf dem korrigierten Meridian senkrechten Richtung wurden die Punkte am besten unterschieden.

Striedinger (22) bediente sich zur Bestimmung der Sehschärfe schwarzer Tüpfel auf weißem Grunde. Auch Snellen hat, nach dem Entwurfe des Deputy-Inspektor-general Th. Longmore, der englischen Ausgabe seiner Sehproben, in den Jahren 1866 und 1868, eine Tafel mit Gruppen solcher Tüpfeln beigegeben. Der gegenseitige Abstand derselben soll dabei gleich sein dem Durchmesser eines Tüpfels.

Nach demselben Prinzipe hat auch Burchardt (13 u. 53) seine Sehproben konstruiert. Er verwendet 29 verschieden große Gruppen von 3 bis 7 unregelmäßig angeordneten, kreisförmigen, schwarzen Tüpfeln auf weißem Grunde. Das normale Auge unterscheidet dieselben genau genug, um sie zählen zu können, wenn der sie trennende Gesichtswinkel 2,15 Minuten beträgt. Jeder Gruppe ist die Normalzählweite in Centimetern und Rheinischen Zollmaß beigefügt. Sie variiert von 1600 bis 15 cm. Die Tafeln, in Taschenformat, sind sehr portativ und enthalten, außer der eingehenden Gebrauchsanweisung, auch Figuren zur Bestimmung des Astigmatismus.

Boettcher (63) benutzt zu demselben Zwecke Gruppen von 3 bis 5 schwarzen Vierecken auf weißem Grunde. Der relative Abstand derselben soll auch hier wieder gleich der Dicke der Striche sein. Die Gruppen, von verschiedener Größe, sind numeriert nach der Entfernung, in welcher sie von dem normalen Auge erkannt werden.

Die Sehprüfung mit Gruppen von Punkten und Strichen, die gezählt werden müssen, ist sehr zeitraubend. Sie ist aber außerdem deshalb nicht ganz zuverlässig, weil beim Zählen die Augenbewegungen eine sehr große Rolle spielen (92).

So versuchte man das Problem mit Buchstaben, als mit leicht zu beschreibenden Figuren, zu lösen.

Der Gedanke, Buchstaben und Lesestücke zur Bestimmung der Sehschärfe zu benutzen, ist ein so naheliegender, dass es dazu keines besonderen Kopfzerbrechens bedurfte. Wir finden in der That derartige »Sehproben« und »Schriftnummerproben« schon angegeben von Küchler (12) im Jahre 1843, von A. Smee (17) und Ed. v. Jaeger (17b u. 39) im Jahre 1854, von Stellwag von Carion (18) um ungefähr dieselbe Zeit, und es sollte mich wundern, wenn nicht schon lange vorher Augenärzte civilisierter Länder mit Buchstaben und Ziffern die Sehkraft festzustellen versucht hätten (142).

Allen diesen Versuchen, auch den technisch sehr gut ausgeführten, eben erwähnten Sehproben, mangelt jedoch die wissenschaftliche Basis. Erst im Jahre 1862 haben H. Snellen (23) und Giraud-Teulon (29), unabhängig voneinander, versucht, Buchstaben dem Prinzipe des »Minimum

separabile«, d. h. einem bestimmten Gesichtswinkel zur getrennten Unterscheidung von zwei Punkten oder Linien anzupassen.

Giraud-Teulon (29) benutzte, als Sehproben, zu Worten zusammengestellte, kleine französische Druckbuchstaben, mit gleich breiten Linien und Interlinien. Jede Gruppe trägt eine Zahl, welche in Metern die Entfernung angiebt, in welcher die Zwischenräume zwischen den die Buchstaben bildenden Strichen unter einem Winkel von einer Minute erscheinen.

Auf 1 m Entfernung ist der Durchmesser der Striche = 0,3 mm. Die Tafel enthält auch Worte für 0,5 und 0,33 m Entfernung, mit 0,15 und 0,1 mm Durchmesser. Andererseits steigen die Gruppen in Größe für folgende Entfernungen: 1,5, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 30 und 50 m.

Die Gruppen sind von zwei parallelen Kreisen umgeben, von denen vier Durchmesser mit je drei parallelen Linien bezeichnet sind, zur Bestimmung des Astigmatismus.

Das Prinzip des einheitlichen Gesichtswinkels ist in diesen Sehproben jedoch schon deswegen nicht glücklich durchgeführt, weil der Autor nur die Dicke der Striche in Betracht zog, die Länge derselben und die gesamte Form mancher Buchstaben aber vernachlässigte. Außerdem eignen sich Worte und Lesestücke, wie wir noch später sehen werden, nicht zur Prüfung der Sehschärfe. Lesen ist ein sehr komplizierter und für verschiedene Individuen durchaus verschiedener Akt. Für Geübte besteht es höchstens bei unbekannten Namen in der Entzifferung von Buchstaben, sonst aber in der Auffassung der Worte in ihrem Gesamtanblicke sowohl, als in ihrem Zusammenhange mit den benachbarten Worten. Übung und Erraten werden denn auch bei solchen Sehproben zu großen Fehlerquellen.

H. Snellen (23) suchte das Prinzip der Sehprüfung mit *einzelnen Buchstaben* zu verwirklichen. Er wählte dazu einmal »quadratische große lateinische Lettern, sogenannte ‚Egyptiennes', deren Linien und Interlinien, soweit möglich, $1/5$ der Höhe oder Breite des gesamten Buchstabens beträgt« (Fig. 173); sodann aber auch kleine, möglichst nach demselben Prinzipe ausgeführte, gothische Buchstaben.

Für Leute, welche die Buchstaben nicht kennen, hat Snellen in gleicher Weise konstruierte Gruppen von drei parallelen Strichen, sowie auch dreizackige **E**, und zweizackige **C** Haken angegeben. Sie sind verschieden gerichtet, und der Untersuchte muss herausfinden, in welcher Richtung die Figur offen ist. Bei den zweiarmigen Haken entspricht, in der beigegebenen Distanz, das Intervall offenbar nicht einer Minute, sondern 3 Minuten. Sie sind also schon deswegen nicht den Buchstaben vergleichbar.

Snellen's »Test-types« der ersten Ausgabe waren, wie schon oben bemerkt, für eine Entfernung von 20′ berechnet. Später folgten mehrere Ausgaben für 6 m, endlich auch eine für 5 m (Fig. 173).

Die Gruppen der Sehzeichen verschiedener Größe sind auf einer langen vertikalen Tafel übereinander gestellt: jede trägt eine Zahl, welche die Entfernung angiebt, in welcher, wie Snellen sagt, die Figur unter einem Winkel von 5′ erscheint. Wir würden vorziehen zu sagen, die Entfernung, in welcher Linien und Interlinien einen Winkel von je einer Minute einschließen. Ist doch auf diesem Gesichtswinkel als Einheit die ganze bisherige Methode der Sehprüfung aufgebaut. Die gesamte Höhe oder Breite der Prüfungsobjekte hat eine nur sekundäre Bedeutung. So sind Snellen's zweiarmige Haken, trotz ihrer Höhe von 5′, doch 3mal leichter zu erkennen, als Objekte, die zu deutlicher Unterscheidung einen Winkel von 1′ erfordern.

Snellen's Probebuchstaben und Test-types, die sich rasch allgemein eingebürgert haben, sind in mancherlei Weise nachgeahmt und modifiziert worden. Aber auch die davon verschiedensten haben doch das

Fig. 173.

B

D E

T B R

F E B D

E T L F N

P Z E D B G

O L T Z B D N

O L T Z B D N

A C E O L N P R T

V Z B D F H K O S A

L N P R T V Z B D C E

Snellen'sche Prinzip beibehalten. Wir lassen hier die bekanntesten Sehproben in Kürze folgen:

John Green's Sehproben haben wir oben, ihres konstanten Faktors wegen, schon erwähnt. Sie bestehen, in ihrer ersten Ausgabe, aus lateinischen Buchstaben in einfachster, sogenannter »grotesque« Form. Um den Unterschied der Erkennbarkeit zwischen den Buchstaben etwas auszugleichen, ließ Green eine große Zahl weg: A, B, K, M, N, R, S, V, W, X, Y, Z, und behielt nur C, D, E, F, G, H, I, J, L, O, P, Q, T und U.

Später haben John Green und E. Ewing (44) Sehproben herausgegeben, bestehend aus »New-York-block-letters«. Auch diese folgen, in ihrer Höhe, einer geometrischen Reihe, mit dem Faktor $\sqrt{0{,}5}$ oder $\sqrt[3]{0{,}5}$ und sind berechnet für Entfernungen von 2 bis 64 m (6 bis 192′). Für jeden Grad der Sehschärfe wird nur ein Buchstabe gegeben. Dafür aber haben die Autoren sofort mehrere Tafeln mit verschiedenen Lettern veröffentlicht. Jede derselben misst 7″ auf 14″ und ist auf beiden Seiten bedruckt. Dieselben Sehproben werden auch auf Leinwand gedruckt und auf Walzen gespannt, über welche sie sich vom Standorte des Patienten aus rollen lassen.

Javal's Tafel zur Sehprüfung enthält, außer großen, Green's ähnlichen, Buchstaben, auch einzelne Punkte und Linien von verschiedenem Durchmesser. Sie sind, nach Green's Vorgang, unter sich durch einen konstanten Faktor ($\sqrt{2}$) zu einer geometrischen Reihe verbunden.

Schweigger's Sehproben (64) sind Snellen's Buchstaben sehr ähnlich. Der Autor schlägt vor, in der Formel $v = \frac{d}{D}$ das D der Distanz gleich zu setzen, in welcher der normalsichtige Untersuchte selbst die Sehproben eben erkennt. Damit möchte er den störenden Einfluss der Beleuchtung korrigieren. Am besten ist es eben, bei konstanter Beleuchtung zu untersuchen.

de Wecker's (66) »Echelle métrique« enthält zur Bestimmung der Sehschärfe für die Ferne vier lange Tafeln mit lateinischen und russischen Antiques- und Egyptiennes-Buchstaben, sowie offenen Vierecken (zwei zackigen Haken) nach Snellen. Ihre Größe ist so gewählt, dass sie in 5 m Entfernung folgende Sehschärfegrade ergeben:

$^1/_{10}$, $^1/_8$, $^1/_6$, $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$, $^2/_3$ und 1.

Mayerhausen's (76) Ziffertafeln zur Bestimmung der Sehschärfe bestehen in nach Snellen's Prinzip konstruierten arabischen Ziffern. Dieselben sollen, nach des Autors Angabe, »ganz erheblich besser erkannt« werden als gothische Buchstaben.

Schneller (Danzig) hat Sehproben in einem kartonnierten Taschenbüchlein zusammengestellt. Sie bestehen aus Lesestücken, einzelnen kleinen und großen Buchstaben, Zahlen und dreizackigen Haken, die von 0,3 bis auf 20 m erkannt werden sollen.

Die von der Petersburger Augenklinik herausgegebenen Sehproben (82) sind, nach SNELLEN's Prinzip, auf dem Metersysteme basiert und sehr gut ausgeführt. Sie enthalten fünf Tafeln: 1. russische Buchstaben, 2. lateinische Buchstaben, 3. Zahlen, 4. Haken, 5. zwei Figuren zur Bestimmung des Astigmatismus. Leseproben, Zahlentafel und Noten. Die zweite Auflage enthält auch Leseproben in neun Sprachen.

CH. A. OLIVER's (81) Sehproben entsprechen SNELLEN's Blockletters, von denen jedoch nur C, D, E, F, L, O und T verwertet werden. Der sie trennende Zwischenraum ist mindestens gleich der von dem Buchstaben bedeckten Fläche. Sie sind in 12 Gruppen von verschiedener Größe übereinander angeordnet, die kleinsten oben.

Auf 5 m entsprechen dieselben folgenden Graden der Sehschärfe:

$$2,\ 1,\ 2/3,\ 1/2,\ 1/3,\ 1/4,\ 1/5,\ 1/6,\ 1/7,\ 1/8,\ 1/9,\ 1/10,$$

während bei den meisten Sehproben das Intervall von den geringen zu den höheren Graden der Sehschärfe immer kleiner wird, nimmt es bei OLIVER's Sehproben zu.

PARINAUD's (87) Echelles optométriques sind zwei den SNELLEN'schen nachgebildete Wandtafeln. Die eine, für 5 m Entfernung, enthält acht Nummern von großen Egyptiennes-Buchstaben, entsprechend den Sehschärfegraden von 1, $2/3$, $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$, $1/7$, $1/10$.

Die Buchstaben jeder Gruppe gehen von links nach rechts, von den leichteren zu den schwerer erkennbaren. Die zweite Tafel enthält große Antiques-Buchstaben, welche, in Decimalen ausgedrückt, folgende Serie der Sehschärfegrade ergeben:

0,1, 0,15, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,8, 1.

Ein Blatt enthält 13 Gruppen von Buchstaben, die von 10 m bis auf 25 cm unter einem Winkel von 5′ erscheinen.

EDM. JACKSON in Philadelphia konstruierte Sehproben, die sich in ihrer Größe zu den SNELLEN'schen verhielten wie 9 : 10. Die zu Grunde gelegte Einheitssehschärfe ist also um $1/10$ höher als die SNELLEN'sche.

C. M. CULVER's (88) Test-types bestehen in lateinischen Buchstaben, in der Form den SNELLEN'schen analog, jedoch auf die angegebene Distanz nicht 5′, sondern nur 4′ hoch, und doch für Linien und Interlinien in Fünftel geteilt. Der zu Grunde gelegte Unterscheidungswinkel ist also 48″ statt 60″, und CULVER's Einheit verhält sich zu der allgemein angenommenen wie 5 : 4. Danach hat CULVER Buchstaben konstruiert für 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 30 und 60 m Entfernung.

WOLFFBERG's (97) Sehproben bestehen in einfachen Figuren für Kinder, und sogenannten Antike-Lettern von zwölf verschiedenen Größen, entsprechend den Entfernungen 50, 30, 20, 15, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, 2 m. Sie sind auf Leinwand gedruckt, und zwar giebt der Autor eine größere

Zahl solcher Tafeln, von denen jede für die verschiedenen Grade der Sehschärfe nur je einen Buchstaben enthält.

A. Steiger (99) empfiehlt zur Sehprüfung Snellen's einfache Haken, d. h. Vierecke, denen eine Seite fehlt. Davon bildet er 20 Gruppen von verschiedener Größe zur Sehprüfung in Ferne und Nähe. Links über jeder Gruppe ist ersichtlich, in welcher Entfernung die Zeichen erkannt werden müssen, bei $V = 1$, rechts, wie groß die Sehschärfe bei 5 m und bei 0,25 m Entfernung ist. Damit die Tafel auch für andere Entfernungen dienen könne, fügt ihr der Autor eine Hilfstabelle bei, worin sich die jeder Nummer jeweilen entsprechende Sehschärfe in Decimalen ausgedrückt findet.

W. Nicati's (113) »Echelles visuelles« bestehen in fünfzehn Tafeln mit erläuterndem Texte. Sechs davon sind bestimmt zur Sehprüfung in 3,5 m Entfernung. (Die Tangente einer Minute wird dann gleich 1 mm.)

Alle enthalten nach Snellen's Prinzip gebaute Buchstaben. Die erste, »Echelle sommaire de l'acuité angulaire«, giebt je einen Buchstaben für folgende Gesichtswinkel: 1′, 1,25′, 1,5′, 2′, 2,5′, 3′, 3,5′, 4′, 4,5′, 5′, 6′, 7′, 8′, 9′, 10′, 12′, 15′.

Die zweite enthält neun Zeilen mit Buchstaben für $V = 1/6$, $1/5$, $1/4$, $1/3$, $2/5$, $1/2$, $2/3$, $4/5$ und 1, entsprechend den Gesichtswinkeln von 6′, 5′, 4′, 3′, 2,5′, 2′, 1,5′, 1,25′ und 1′, außerdem die Radienfigur zur Bestimmung des Astigmatismus (Astigmoscope rayonné).

Die Sehzeichen der dritten und vierten Tafel entsprechen denen der beiden ersten, nur bestehen sie, statt aus Buchstaben, aus je drei parallelen horizontalen oder vertikalen Strichen (das Astigmoskop aus parallelen Halbkreisen).

Auf der fünften Tafel sind die Größen der Buchstaben so gewählt, dass die entsprechende Sehschärfe, in 3,5 m Entfernung, Decimalbrüchen von 0,1 bis 1 entspricht. Sie enthält außerdem eine schachbrettartige Figur zur Eruierung des Astigmatismus (Astigmoscope carrelé).

Die Buchstaben der sechsten und siebenten Tafel sind dazu bestimmt, die Beleuchtung mit Hilfe der Sehschärfe zu messen.

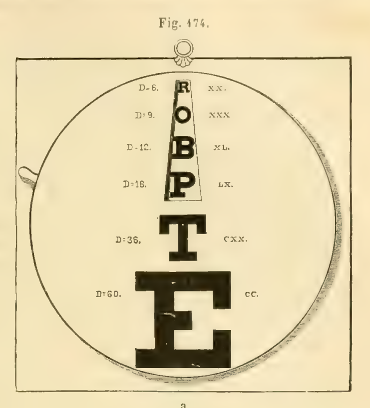
Tafel VIII—XV enthalten Leseproben in verschiedenen Sprachen.

L. Weiss (117) konstruierte, nach Snellen's Prinzip, lateinische und kleine gothische Buchstaben und arabische Ziffern, ebenfalls auf langen Tafeln zusammengestellt. Jede Linie trägt zur Linken die Distanz, in welcher ihre Details unter einem Winkel von 1′ erscheinen, zur Rechten die der Sehschärfe entsprechenden Decimalbrüche, wenn dieselbe in 5 m, resp. in 6 m Entfernung erkannt wird. Wird mit den für 6 m bestimmten Tafeln in 5 m Entfernung untersucht, so wird das Intervall, statt $1/10$, $1/12$.

Zur Bestimmung von über der Einheit liegenden Sehschärfegraden dient eine kleinere Tafel, die, für 6 m, die Nummern für $V = 1,1$, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,8 und 2 enthält.

Pflüger's (123) Sehproben bestehen hauptsächlich aus quadratischen dreizackigen, verschieden gerichteten Hakenfiguren. Jede Gruppe trägt zwei Nummern. Die eine giebt, in Centimetern, die Entfernung an, in welcher das Einheitsauge sie erkennen muss, die andere den Grad der Sehschärfe. Für den Fall, dass die Tafel in 10 m aufgestellt wird, ergeben sich folgende Grade: 0,1, 0,15, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1, 1,25, 1,5, 1,75, 2, 2,5, 2,75, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 6, 8 und 10. Dividiert man die ersten Nummern mit 1000, so erhält man die entsprechende Zahl von Minuten des Gesichtswinkels.

Fig. 174.



a



b

Die Figuren sind, wie vorher schon die unsrigen, auf quadratische Tafeln gedruckt, welche sich, zur Veränderung der Richtung der Haken, um eine centrale Achse drehen lassen. Die eine enthält auch Buchstaben in Spiegelschrift und Snellen's Radien zur Bestimmung des Astigmatismus.

Zu leichterem Verständnisse mit wenig entwickelten Patienten, bedient sich der Autor eines aus Holz geschnitzten, dreizackigen Hakens, der dem Untersuchten

in die Hand gegeben wird, damit er, durch die Stellung desselben, die Richtung der Sehzeichen angeben könne.

Sulzer's Probetafel haben wir oben, anlässlich der Progression der darin enthaltenen Sehschärfegrade, schon erwähnt. Sie besteht nicht, wie die Snellen'sche, aus Egyptiennes, sondern aus römischen Buchstaben.

Straub's »Proefletters« (111) zeichnen sich durch große Mannigfaltigkeit aus. Sie bestehen in nicht weniger als 420, auf drei Karten gedruckten Buchstaben, Ziffern und Figuren. Man vermeidet auf diese Weise, dass der Untersuchte die Sehzeichen auswendig lernt.

C. H. Williams »Standard Test-types« (137c) enthalten, außer großen »Grotesque«-Buchstaben, auch denselben gleich große Figuren, welche die in Amerika gebräuchlichen Eisenbahnsignale darstellen.

Um dem Untersuchten nur je ein Probeobjekt vorzuführen und, wenigstens die kleineren, verändern zu können, hat W. Thomson Snellen's Buchstaben und einige Zahlen, in umstehender Weise (Fig. 174), auf zwei übereinander drehbaren Kartonscheiben angeordnet. Die obere (a) trägt die großen Buchstaben E und T feststehend, und darüber einen Ausschnitt, in welchem die Buchstaben der darunter verborgenen Scheibe (b) bei deren Drehung zum Vorschein kommen. Die Entfernungen sind für jede Größe in Meter und Fuß angegeben. Sie entsprechen den Snellen'schen von 60 bis 6 m.

Albrand (112) hat, namentlich zur Bestimmung der Sehschärfe von Kindern, Sehproben hergestellt, die aus zwei gegeneinander geneigten, schwarzen Strichen auf weißem Grunde bestehen. Sie haben verschiedene Richtungen und Dimensionen und sollen, um die Einheitssehschärfe zu ergeben, in folgenden Entfernungen unterschieden werden: 65, 32, 22, 16, 13, 9, 7, 6,5 m.

Da sich die Figur mit zwei ausgestreckten Fingern vergleichen lässt, so kann der Untersuchte mit seiner Hand die Figur leicht nachahmen, und so andeuten, bis wie weit er die Sehproben deutlich sieht.

Zu demselben Zwecke hat E. Heimann (149) die Figur einer geschlossenen Hand mit ausgestrecktem Zeigefinger gewählt. Dieselbe ist in verschiedenen Größen ausgeführt, und jede Serie enthält mehrere, verschieden gerichtete Figuren. Das Kind hat dann anzugeben, in welcher Richtung der Finger zeigt.

Endlich hat man auch sogenannte Sehproben für Kinder hergestellt, welche in Konturen von Hausgeräte, Spielwaren u. dgl. von verschiedenen Dimensionen bestehen. Solche Hieroglyphen entfernen sich aber zu weit von dem Prinzipe der Optometrie und sind nicht einmal mit anderen Sehproben direkt vergleichbar.

Glücklicherweise sind auch ganz junge Kinder intelligent genug, um gerade mit den besten, weil einfachsten, Sehproben untersucht werden zu können.

§ 140. Sollen wir in der Aufzählung der Sehproben noch weiter fortfahren, oder sind wir darin nicht schon zu weit gegangen? Wir haben uns bemüht, die uns zu Gebote stehenden kurz zu beschreiben, die uns ferner liegenden wenigstens zu erwähnen. Es sind uns aber jedenfalls doch noch manche entgangen, und wir bitten die Autoren derselben deshalb um Verzeihung. Wir glauben aber, die Leser dieses Werkes nicht noch weiter mit dieser Nomenklatur ermüden zu dürfen. In der That sind alle auf Buchstaben beruhenden Sehproben den SNELLEN'schen mehr oder weniger genau nachgebildet. Ja sogar Nachteile derselben, die, ohne irgend welche Änderung des Prinzipes, leicht zu verbessern gewesen wären, sind von den meisten Autoren beibehalten worden.

Ich muss nun aber offen gestehen, dass ich weder die SNELLEN'schen Buchstaben, noch ihre Derivate, jemals mit ganz ruhigem Gewissen zur Sehprüfung verwendet habe. Ich musste mich immer und immer wieder fragen, ob dieselben wirklich dem Prinzipe der Sehprüfung gerecht werden, ihr Erkennen wirklich auf dem getrennten Unterscheiden von Punkten und Linien unter einem gegebenen Winkel beruhe.

Ich glaubte diese Frage nicht ganz bejahen zu dürfen, und versuchte deshalb im Jahre 1889 schon (89), den zur Sehprüfung verwendeten Buchstaben und Zahlen eine Form zu geben, die diesem Prinzipe besser entspräche. Ich hoffte zu gleicher Zeit, einen Nachteil dieser Sehzeichen, nämlich den des Erratens, zu vermindern.

In der That handelt es sich bei der Konstruktion der zur Sehprüfung bestimmten Buchstaben nicht, wie bei den im gewöhnlichen Leben verwendeten, darum, dieselben möglichst leicht erkennbar zu machen, sondern umgekehrt darum, das Erraten derselben möglichst auszuschließen. Sollen die Prüfungsobjekte doch nur nach einem gewissen Prinzipe zusammengestellte Striche und Punkte sein, die, vermöge ihrer Ähnlichkeit mit bekannten Formen, d. h. mit Buchstaben und Ziffern, leicht bezeichnet werden können. So wichen denn auch manche der von mir konstruierten Buchstaben und Ziffern von der gebräuchlichen Form ab, und suchte ich mich dem der Prüfung der Sehschärfe zu Grunde liegenden Prinzipe dadurch mehr, als es bisher geschehen war, zu nähern, dass ich solche Zeichen wählte und sie so ausführte, dass nur derjenige, der zwei durch einen Winkel von einer Minute getrennte Punkte erkennt, dieselben auf die angegebene Distanz von ähnlichen Zeichen zu unterscheiden vermochte; so ein gewisses R von einem B, ein C von einem O. Auch die Ziffern 5, 6, 8, 9 stellte ich so her, dass die Lücke zwischen zwei schwarzen Strichen mit Sicherheit wahrgenommen werden musste, um die Zahlen nicht miteinander zu verwechseln.

Meine Sehproben waren auf einer quadratischen Tafel in 5 Linien angeordnet, um mittelst eines Reflektors gleichmäßig beleuchtet werden zu können. Jede Gruppe enthielt nur 3 Sehzeichen, zwei Buchstaben und

eine Ziffer. Dieselben waren so angeordnet, dass das erste am leichtesten, das dritte am schwersten zu erkennen war. Auf diese Weise erhielt man einen Übergang von einer Gruppe zu der nächstfolgenden.

Die Prüfung mit dieser Tafel wurde auf 5 m vorgenommen, so dass die den einzelnen Gruppen entsprechenden Grade der Sehschärfe die oben erwähnte decimale Reihe von 0,1 bis 2 bildeten. Die Mühe, die ich mir um die Herstellung dieser Sehproben gab, die Verbesserungen, die ich, gestützt auf die damit gemachten Erfahrungen, an der zweiten Auflage anbrachte, führten mich aber zu der Überzeugung, dass Buchstaben und Zahlen zur Bestimmung der Sehschärfe durchaus ungeeignete Objekte sind.

Längst schon hat man gegen dieselben eingewendet, dass sie sich nur bei geschulten Leuten einer Sprache zur Sehprüfung verwenden lassen, dass aber auch von diesen nicht allen die gerade vorliegenden Formen geläufig sind. Fand sich doch Snellen genötigt, für Deutschland allein, neben den lateinischen Buchstaben auch gothische herauszugeben. Die letzteren sind aber den ersteren durchaus nicht ganz gleichwertig; von den Illitteraten bestimmten Optotypen gar nicht zu sprechen.

Aber auch die der Buchstaben Kundigen erkennen dieselben, trotz gleicher Sehschärfe, durchaus nicht gleich leicht. Ein im Lesen Geübter errät die Form derselben, ohne deren Details zu unterscheiden, während ein Ungeübter erst mit Hilfe eines schärferen Netzhautbildes im stande ist, den Buchstaben zu bezeichnen.

Weiter hat man mit Recht hervorgehoben, dass in der Erkennbarkeit von Buchstaben gleicher Größe sehr bedeutende Unterschiede bestehen. Ein A wird leichter erkannt als ein B, ein O leichter als ein M u. s. f. Diesem Einwurf zu entgehen, haben, wie oben bemerkt, vorsichtige Autoren gewisse Buchstaben ganz aus ihren Probentafeln verbannt, andere dagegen dieselben gerade willkommen geheißen, weil die schwieriger zu erkennenden den Übergang von einer Stufe zu der nächstfolgenden kleineren bilden sollten. Damit wird allerdings zugegeben, dass dem die Sehschärfe bezeichnenden Ausdruck nur eine relative Gültigkeit zukommt.

Die angegebenen, längst bekannten Übelstände der gebräuchlichen Sehproben scheinen mir schon viel größerer Beachtung wert, als sie bisher gefunden haben. Dazu gesellen sich aber noch andere, die noch bedeutender sein dürften.

Untersucht man etwas aufmerksamer die Art und Weise, in welcher Buchstaben erkannt werden, so entdeckt man, dass dieser Prozess für verschiedene derselben ein ganz verschiedener ist.

Stellen wir uns z. B., einer Reihe gleich großer, gut beleuchteter Snellenscher Buchstaben gegenüber, in so großer Entfernung auf, dass uns das sie enthaltende Blatt einfach weiß erscheint. Nähern wir uns denselben langsam, so tauchen darauf nach und nach formlose dunkle Flecke auf. Die

ersten, die wir sehen, entsprechen selbstverständlich den Buchstaben, die am meisten, die letzten denjenigen, die am wenigsten Schwarz enthalten. So wird z. B. das Snellen'sche E von 16, das L von nur 12 schwarzen Quadraten gebildet. Das Verhältnis, in welchem die beiden Buchstaben den Lichtsinn affizieren, ist also wie 4 zu 3.

Treten wir der Tafel näher, so erraten wir ein E, weil der dunkelste Fleck eine quadratische Form angenommen hat, die sonst keinem anderen Buchstaben zukommt, aber nicht etwa, weil wir die Linien und Interlinien desselben voneinander zu unterscheiden vermöchten. Dazu bringen wir es erst viel später.

Fast zu gleicher Zeit nennen wir aber auch ein A und ein V. Letzteres könnte allerdings auch ein Y sein. Aber, wenn kein solches auf der Tafel enthalten ist, so scheinen wir das V richtig erkannt zu haben. Auch L wird als solches angegeben. Bald darauf treten X, Y und T, die beiden letzteren allerdings schwer voneinander unterscheidbar, zu Tage. Auch ein O, ja zwei O, glauben wir mit Sicherheit zu unterscheiden. Viel später, in einer Entfernung, die nicht einmal zwei Dritteln derjenigen entspricht, bei welcher wir L und A angegeben, erkennen wir, dass zwischen den zwei O ein Unterschied besteht, dass nämlich nur das eine ein O, das andere aber ein C ist. Erst von diesem Momente an sind wir auch all der anderen Buchstaben sicher, weil wir sie jetzt endlich in ihren Details unterscheiden.

Es kann wohl kein Zweifel darüber herrschen, dass erst diese Entfernung, in welcher wir die Linien und Interlinien deutlich zu trennen vermögen, dem Grade der Sehschärfe entspricht. Sie erst giebt uns den kleinsten Gesichtswinkel, das Maß der Sehschärfe, des Formsinnes.

Beobachtung und Überlegung lehren uns in der That, das beim Erkennen der vorhergehenden Buchstaben andere Funktionen des Sehorganes vorherrschten. Wir haben, z. B. für das E, das Erraten aus seiner flächenhaften quadratischen Form genannt, das zu stande kommt, lange bevor die Einzelheiten dieses komplizierten Buchstabens unterschieden werden. — Den Eindruck dieser quadratischen Form aber vermittelt nicht etwa das Netzhautbild allein, sondern auch die Bewegung des Auges, das den Konturen des Buchstaben entlang geführt wird.

Noch deutlicher tritt der Eindruck dieses Momentes zu Tage bei Buchstaben, die sich aus Linien zusammensetzen, wie A, V, T, Y, X, N, K. An der Grenze ihrer Unterscheidbarkeit, giebt man sich leicht davon Rechenschaft, dass man dieselben dadurch voneinander zu trennen sucht, dass man den sie bildenden Linien mit dem Blicke folgt, nicht, wie dies beim Unterscheiden zweier Punkte geschieht, dadurch, dass man die empfindlichste Netzhautstelle dem Bilde derselben möglichst ruhig aussetzt.

Aber auch abgesehen von den Augenbewegungen ist das Sehen von Linien ein von dem getrennten Unterscheiden zweier Punkte ganz verschiedener Prozess.

Eine Linie ist zu betrachten als eine Serie von Punkten. Die Sichtbarkeit einer Linie sowohl wie die eines Punktes ist aber eine Funktion des Lichtsinnes und nicht des Formsinnes der Netzhaut. Eine Linie bleibt immer sichtbar, wenn nur ihre Lichtstärke groß genug ist (und die Länge ihres Bildes ein empfindendes Netzhautelement überschreitet). Dem Formsinn aber, dem getrennten Unterscheiden zweier Punkte oder zweier Linien, sind Grenzen gesteckt, die zu eruieren eben Aufgabe der Sehprüfung ist. Dazu eignen sich aber zwei unter einem rechten Winkel zusammenstoßende Linien, wie in dem Buchstaben L, offenbar nicht. Auch spitzwinklig auseinander weichende Linien (V, A) sind in ihrer Sichtbarkeit durchaus nicht vergleichbar mit parallelen Linien, wie sie dem Prinzipe der Sehprüfung entsprechen würden.

Das ganze Alphabet enthält in der That keinen Buchstaben, der sich als solcher zur Sehprüfung eignete. Man könnte glauben, das **i** sollte sich dazu verwenden lassen, und zwar in der Weise, dass dieser Buchstabe hergestellt würde durch fünf Divisionsvierecke der Snellen'schen Buchstaben, von denen das vierte, resp. zweitoberste, weggelassen wäre. So entsteht das in meiner eben erwähnten Probetafel enthaltene i mit seinem Punkte. Der allein hätte Sehschärfe 1, welcher in der entsprechenden Entfernung bestimmt angeben könnte, das i besitzt seinen Punkt und erscheine ihm nicht als einfacher Strich, mit anderen Worten, derjenige, der das Intervall, das einem Fünftel (der Höhe), besser der Tangente einer Minute entspricht, zu unterscheiden vermöchte. So logisch auch dieser Versuch scheint, so ist er doch nicht ganz richtig, und zwar deswegen nicht, weil der Punkt weniger sichtbar ist als die Linie. Von allen Seiten durch die Irradiation des weißen Grundes eingeengt, verschwindet der Punkt in einer Entfernung, in welcher die Linie noch sichtbar ist (3 u. 32).

Richtig würde das Experiment erst, wenn man das mittlere Viereck aus der Linie brechen würde, so dass die beiden Enden gleich viel Schwarz enthielten. Dann aber würde es wieder schwer festzustellen sein, ob der Untersuchte die Lücke auch wirklich erkennt, da ihm die Lage derselben zum voraus bekannt ist. Man müsste sich mit einer größeren Serie von vollen und unterbrochenen Linien helfen, oder zu längeren Linien Zuflucht nehmen, die man an je einer, jedoch für die verschiedenen Linien an verschiedenen Stellen, unterbrechen würde, so zwar, dass die beiden Enden immer noch lang genug wären, um als gleich dunkel betrachtet werden zu können.

Solche sonst untadelhaften Sehproben wären aber unpraktisch, da die Bezeichnung des Ortes, wo der Patient die Lücke sieht, zu viel Zeit in Anspruch nehmen würde.

Es giebt nun ein Mittel, die Lücke immer in der Mitte des Striches zu lassen, so dass den beiden Enden gleiche Lichtstärke zukommt, und dennoch den Ort der Lücke zu verändern, und zwar so, dass der Patient ganz leicht im stande ist, diesen Ort rasch und bestimmt zu bezeichnen. Wir brauchen die Linie nur zu biegen, so dass die beiden freien Enden miteinander verschmelzen, d. h. dass aus der Linie ein Kreis wird.

Fig. 175.



Fig. 176.

Mit der Stellung des Kreises verändert sich die Lage der Lücke, und doch ist es leicht, mit Wort oder Handbewegung, anzugeben, wo sich dieselbe befindet.

Dass die unterbrochene Linie (Fig. 175) und der durch deren Biegung entstanden gedachte Ring (Fig. 176) zur Sehprüfung gleichwertig sind, geht daraus hervor, dass in beiden Figuren die Lücke auf dieselbe Entfernung erkannt wird.

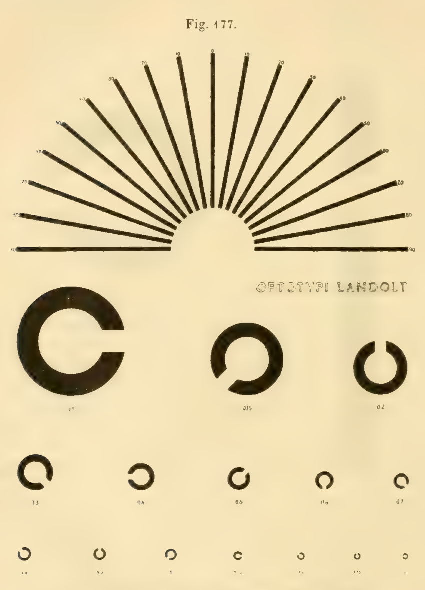
Auf diese Überlegungen gestützt, haben wir nun neue Optotypen konstruiert; wir könnten sagen ein neues Optotyp gewählt, denn die ganze Probetafel enthält eigentlich nur eine und dieselbe Figur, deren Stellung, Entfernung, resp. Größe, geändert wird (86, 136 u. 144).

Das Prüfungsobjekt besteht in einem schwarzen Ringe auf weißem Grunde (Fig. 177), der an irgend einer Stelle durch eine Lücke mit parallelen Rändern unterbrochen ist[1]. Dieser Zwischenraum entspricht, für die Einheitssehschärfe, einem Winkel von einer Minute. Um unsere Sehproben den gewöhnlich gebrauchten möglichst zu nähern, haben

[1] Pergen's Versuche haben dargethan, dass die Sichtbarkeit der Lücke gleich bleibt, wenn ihre Ränder radienartig konvergieren und die Unterbrechung des äußeren Kreises in beiden Fällen dieselbe ist (145).

wir den Kreisen die Dicke der entsprechenden SNELLEN'schen Buchstaben gegeben. Man wird zwar bemerken, dass, während bei den letzteren die Quantität des Schwarz sehr verschieden ist, sich z. B. zwischen einem L und einem E gleicher Größe verhält wie 3 : 4, sie bei unseren Optotypen konstant ist.

Fig. 177.



E. LANDOLT's Optotypen (II) im Durchmesser auf $1/3$ reduziert[1]).

Wir haben die Durchmesser der Lücke so gewählt, dass die Optotypen, in 5 m Entfernung, wie einst unsere Buchstaben und Ziffern, die 15 Sehschärfegrade der oben erwähnten decimalen Serie ergeben. Wir

1) Diese Sehproben II, sowie die folgenden III, finden sich bei C. F. Hausmann, St. Gallen (Schweiz).

führen dieselben hier noch einmal auf und geben zugleich die Entfernungen (D) an, in welchen die Nummern der Sehschärfe (V) einem Gesichtswinkel von einer Minute entsprechen.

V	D	
0,1	50	m.
0,15	33,33	»
0,2	25	
0,3	16,67	
0,4	12,5	»
0,5	10	
0,6	8,33	»
0,7	7,14	»
0,8	6,25	»
0,9	5,55	»
1	5	»
1,25	4	
1,5	3,33	
1,75	2,86	»
2	2,5	»

Wir haben der neuen Tafel, im Interesse gleichmäßiger Beleuchtung, auch wieder die quadratische Form gegeben. Die Exemplare allein, welche auch die etwas vergrößerte SNELLEN'sche Strahlenfigur zur Bestimmung des Astigmatismus enthalten, sind deshalb etwas höher als breit (136, 154).

Diese Form der Optotypen ist seither auch von anderen Kollegen angenommen (147), am letzten internationalen Kongresse für medizinische Wissenschaften in Madrid, von meinem Mitberichterstatter, DE LAS CUEVAS Y PULIDO (155), befürwortet, und von der ophthalmologischen Sektion mit Beifall aufgenommen worden. Sie hat in der That, außer dem Hauptvorzuge, dem der Sehprüfung bisher zu Grunde gelegten Prinzipe der Bestimmung des Minimum separabile gerecht zu werden, noch weitere gute Eigenschaften:

Die Probeobjekte sind einheitlich; die damit gewonnenen Resultate also untereinander direkt vergleichbar. Dies ist aber eine Grundbedingung für Messobjekte. Suchen wir doch, bei der Bestimmung des Lichtsinnes, mit peinlicher Sorgfalt, gleichartiges Licht zu erhalten. Warum sollten wir, bei derjenigen des Formsinnes, verschiedenartige Prüfungsobjekte zulassen?

Während, wegen der ungleichen Erkennbarkeit von Buchstaben unter sich, und der Leichtigkeit, mit welcher sie sich dem Gedächtnis einprägen, eine richtige Probetafel für jeden Grad der Sehschärfe eine große Zahl

solcher Sehzeichen enthalten sollte, genügt für jeden derselben ein einziges unserer Zeichen. Trotzdem vergisst der Untersuchte, von einem Tag zum anderen, ja sogar von der Untersuchung des einen zu der des anderen Auges, den Ort der Lücke in den Ringen[1]).

Wünscht man übrigens die Sehzeichen zu ändern, so braucht man einfach die Tafel zu drehen. Man kann sie auch in einem Spiegel (auf halbe Entfernung) sehen lassen, ohne einer speziellen »Spiegelschrift« zu bedürfen.

Aus demselben Grunde genügt, bei diesen Optotypen, für jeden Grad der Sehschärfe ein einziges Sehzeichen. Es lässt sich daher die Probetafel sehr reduzieren, was für eine gleichmäßige Beleuchtung derselben von großem Vorteil ist.

Die Antworten der Untersuchten sind außerdem bei diesen Sehproben gewöhnlich sehr genau. So kommt es selten vor, dass, wie dies bei den unter sich so ungleichen Buchstaben die Regel ist, Zeichen einer, ja mehrerer Größen nicht, kleinere dagegen wohl erkannt werden, so dass sich der Grad der Sehschärfe gar nicht mit Genauigkeit angeben lässt. Da wir uns überall desselben Sehzeichens bedienen, so muss dasselbe notwendigerweise in größerer Dimension leichter erkannt werden, als in kleinerer. Unterscheidet dennoch einmal ein Untersuchter die Lücke eines Ringes, während er sie in dem benachbarten größeren nicht anzugeben weiß, so kann man mit Sicherheit auf Astigmatismus, und, aus der Lage der Lücke, sogar auf die Richtung der Hauptmeridiane schließen. Dieselbe wird denn auch, bei Korrektion des Brechungsfehlers, sofort sichtbar.

Ein ganz besonderer Vorzug dieser Optotypen dürfte auch der sein, dass sie bei Litteraten wie Illitteraten aller Völker, bei Erwachsenen und Gebildeten, wie bei Kindern und Ungebildeten, verwendbar sind, also wirklich universelle Sehproben darstellen[2]).

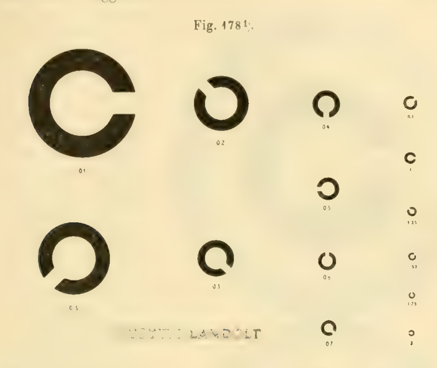
Um die Sehprüfung etwas abzukürzen, haben wir unsere Sehzeichen auch so angeordnet, wie Fig. 178 darstellt: Die Nummern V = 0,1, 0,2,

1) Merkwürdigerweise hat man diese Thatsache unseren Optotypen zum Vorwurfe machen wollen, und zwar deshalb, weil bei der Prüfung mit Buchstaben, die er auswendig kennt, der Untersucher die Antworten der Patienten nicht mit seiner eigenen Sehschärfe zu kontrollieren brauche. Aber gebührt der Genauigkeit der Prüfung nicht der Vorzug vor der Bequemlichkeit des Untersuchers? — Außerdem lassen sich ja die kleinen Sehzeichen, die der Untersucher nicht mehr in der Entfernung sieht, z. B. in dem hinter dem Patienten stehenden Brillenkasten anbringen.

2) Verschiedene Kollegen haben die Resultate der mit Snellen's und mit meinen Sehzeichen vorgenommenen Prüfungen zu vergleichen versucht. Die einen haben mit den ersteren höhere, die anderen geringere Sehschärfe erhalten, als mit den letzteren, d. h. die Buchstaben und Haken teils leichter, teils schwerer erkennbar gefunden, als die unterbrochenen Ringe. Dies war auch vorauszusehen. Da Buchstaben und Haken untereinander sehr verschieden sind, so lassen sich mit denselben eben keine genauen Versuche anstellen.

0,4 und 0,8 stehen in einer horizontalen Linie nebeneinander, die Zwischennummern darunter. Man lässt dann den Patienten erst nur die horizontale Reihe angeben und dann, vom letzten Zeichen an, das er noch erkennt, darunter zu den kleineren Zeichen übergehen. Das 0,9 haben wir in dieser Tafel absichtlich weggelassen.

Fig. 178[1].



Unsere Sehproben sind auch in Taschenformat erschienen (144). Fig. 179 stellt diese Ausgabe in halber Größe dar, A die Vorder-, B die Rückseite. Sie besteht in zwei kreisförmigen Scheiben aus Karton, von 14 cm Durchmesser, die, durch ein Leinwandstreifchen verbunden, sich aufeinander legen lassen.

Die eine Scheibe trägt den größten Ring der Sehproben, denjenigen, welcher auf 5 m dem Zehntel der Einheitssehschärfe (V = 0,1) entspricht. Sie dient, wie wir gleich sehen werden, auch zur Bestimmung der Sehschärfegrade unter 0,1.

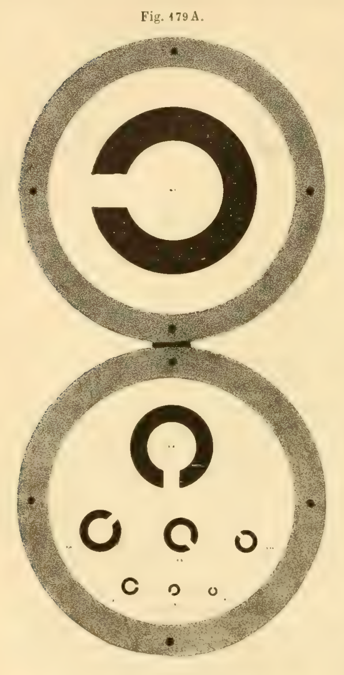
Die andere Scheibe enthält die Ringe für V = 0,2, 0,4, 0,5, 0,75, 1, 1,5 und 2. — Wir haben das 0,75 deshalb beigefügt, weil in manchen Marine- wie Militärreglementen, sowie in Statuten von Versicherungsgesellschaften u. s. w., von Sehschärfe $^3/_4$ die Rede ist, während die verbreitetsten Sehproben die diesem Grade entsprechende Figur gar nicht enthalten.

1 Auch diese Probetafel (III) enthält, wie die vorige (II), die Strahlenfigur zur Bestimmung des Astigmatismus. Wir haben sie hier nur der Einfachheit halber weggelassen.

Im Rande der Scheiben angebrachte Löcher gestatten, dieselben, aufeinandergelegt, in verschiedenen Richtungen an der Wand zu befestigen.

Auf der Rückseite der Scheiben (Fig. 179 B) findet sich die Gebrauchsanweisung der Sehproben in deutscher, französischer, englischer und italienischer oder spanischer Sprache, und zwar in Buchstaben von sechs verschiedenen Größen. So lassen sich dieselben auch zur Prüfung des Sehens in der Nähe verwenden. Eine Kartonhülle schützt die Tafel vor Beschmutzung.

Fig. 179 A.

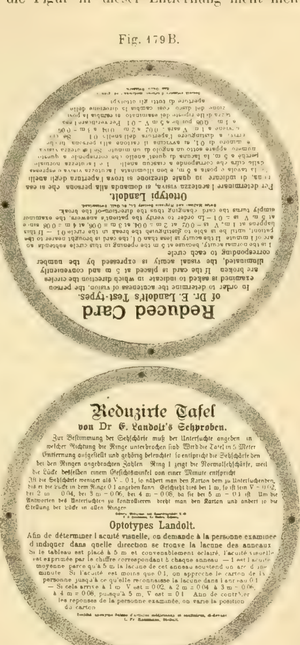


Ist die Sehschärfe unter ein 0,1 gesunken, so pflegt man Finger zählen zu lassen (Snellen 129). Lässt sich nun auch in solchen Fällen die Sehkraft nicht mit großer Genauigkeit feststellen, so ist doch das Fingerzählen eine allzu unsichere Prüfungsmethode. Einmal bestehen zwischen den Fingern verschiedener Untersucher beträchtliche Unterschiede; sodann kann der Patient die Zahl der Finger zu leicht erraten, übersteigt sie doch nie fünf. Hauptsächlich aber ist es viel leichter, zwischen 1 und 2, zwischen 2 und 3, als zwischen 3 und 4 Fingern zu unterscheiden. Am leichtesten noch zählt (?) der Patient 5 Finger, d. h. er erkennt die ganze Hand in ihrer Gesamtheit.

Wir bedienen uns deshalb zur Bestimmung von so geringen Sehschärfegraden, schon seit 1888, der gleichen Figur, die wir für die Sehprüfung überhaupt vorgeschlagen haben (86). Der Ring, dessen Lücke auf 50 m

unter einem Gesichtswinkel von einer Minute erscheint, ist auf ein rundes Stück Karton (Fig. 179A) gedruckt. In 5 m Entfernung ist die entsprechende Sehschärfe also = 0,1. Wird die Figur in dieser Entfernung nicht mehr erkannt, so nähern wir sie dem Patienten, bis derselbe anzugeben vermag, in welcher Richtung der Ring offen ist. Da wir die Stellung der Figur beliebig verändern können, und der Karton, der sie trägt, selbst kreisrund ist, so ist dabei alles Raten ausgeschlossen.

Fig. 179B.



Der Grad der so gefundenen Sehschärfe ergiebt sich auf das Allereinfachste:

Da auf	5 m	V = 0,1 ist,
so ist „	4	V = 0,08
„	3	V = 0,06
„	2	V = 0,04
„	1	V = 0,02
„	0,5	V = 0,01.

D. h. man braucht die in Metern ausgedrückte Entfernung nur mit 2 zu multiplizieren, um die entsprechende Sehschärfe in Hundertsteln der Einheitssehschärfe zu erhalten.

Die Sehprüfung geht auf diese Weise ebenso rasch, aber viel genauer von statten, als mit dem Fingerzählen, das wirklich unseren heutigen Begriffen der Funktionsprüfung des Auges nicht mehr gerecht wird.

Zusammenfassend können wir sagen: Die gegenwärtig gebräuchliche Snellen'sche Methode der Sehprüfung beruht auf dem Prinzipe, die Entfernung aufzusuchen, in welcher Buchstaben und ähnliche Figuren gerade noch erkannt werden.

Erscheinen ihre unter sich gleichen Linien und Interlinien unter einem Winkel von einer Minute, so bezeichnet man den Grad der Sehschärfe mit V = 1.

Da es jedoch aus verschiedenen Gründen nicht angeht, sich Sehzeichen von einer einzigen Größe zu bedienen, und die Sehschärfe durch die zu deren Erkennung nötige Entfernung zu bestimmen, so wählt man eine gegebene Entfernung und bringt in derselben die Sehzeichen in der Größe an, die sie, in verschiedenen Entfernungen, resp. unter verschiedenen Gesichtswinkeln gesehen, haben würden.

Die Dimensionen der Sehzeichen hat SNELLEN so gewählt, dass sie, in der gegebenen Entfernung, für die entsprechenden Sehschärfegrade, einfache gewöhnliche Brüche (z. B. $^6/_6$, $^6/_{12}$, $^6/_{24}$ u. s. w.), MONOYER so, dass sie Decimalbrüche ergaben.

Ich habe mich MONOYER's Ausdrucksweise angeschlossen, aber die vielen, unter sich durchaus ungleichwertigen Sehzeichen, wie Buchstaben, Zahlen, Figuren, parallele Linien u. s. w., durch ein einziges Sehzeichen, einen gebrochenen Ring, ersetzt. Der Durchmesser der Lücke ist der Dicke des Ringes gleich und gleich dem Fünftel des äußeren Durchmessers des Ringes. Durch diese Anordnung kommt SNELLEN's Prinzip am reinsten zur Geltung, und können alle Menschen auf dieselbe Weise untersucht, Raten und Auswendiglernen ausgeschlossen werden.

Ist es denn auch wohl möglich, dass wir dereinst der Prüfung des Formsinnes auch in der Praxis ein anderes Prinzip zu Grunde legen, so ergiebt, bei Anwendung des SNELLEN'schen, der gebrochene Ring, wie eingehende Untersuchung und langjährige Erfahrung bewiesen haben, die zuverlässigsten Resultate der Sehprüfung.

§ 141. Nachdem wir uns mit der Form der Objekte zur Prüfung der Sehschärfe so eingehend beschäftigt haben, dürfen wir uns wohl an eine dieselben betreffende, wichtige Frage wenden, die schon gleich bei ihrem Entstehen aufgeworfen worden ist, bis heute aber noch keine abschließende Antwort erhalten hat.

Wie wir gesehen haben, hat man die Sehschärfe bisher betrachtet als umgekehrt proportional der Seite gewisser quadratischer Prüfungsobjekte oder, was auf dasselbe herauskommt, als direkt proportional der Entfernung, in welcher das Auge dieselben unterscheidet.

Nun hat VIERORDT (26) im Jahre 1863 schon gegen diese Ausdrucksweise den Einwand erhoben, die Sehschärfe sei eigentlich nicht der Seite, sondern dem Quadrate der Seite des Probeobjektes umgekehrt, also auch nicht einfach der Entfernung, sondern dem Quadrate der Entfernung direkt proportional. — DONDERS (27) antwortete darauf, dass ja die Astronomen und Mikroskopiker die Vergrößerung ebenfalls in linearem und nicht

in Flächenmaße ausdrücken, und dass diese Ausdrucksweise für die Praxis die einfachere sei. Ähnlich bemerkt SNELLEN, dass, auch wenn VIERORDT's Ausdrucksweise der Wahrheit näher kommen sollte, doch noch gute Gründe genug vorhanden seien, die Sehschärfe in linearem Maße auszudrücken, dass es ja aber auch leicht sei, dasselbe ins Quadrat zu erheben, »should we want it« (125).

Diese Antworten auf die nicht unberechtigte Frage dürften wohl nicht jedermann befriedigen. Steht die Sehschärfe wirklich in geometrischem Verhältnisse zu den Prüfungsobjekten, so müssen wir sie auch in dieser Weise ausdrücken. Soll uns doch in all unserem Thun die Richtigkeit und nicht die Bequemlichkeit leiten. Wir thun dies auch bei der Bestimmung des Lichtsinnes, den wir dem Quadrate der beleuchteten Fläche umgekehrt, dem Quadrate der Entfernung desselben direkt proportional setzen.

Nach der Definition der Sehschärfe, welche dieselbe als die Fähigkeit bezeichnet, zwei Punkte getrennt zu unterscheiden, sollte nun allerdings über die Bezeichnung des Grades derselben kein Zweifel herrschen dürfen: Der Abstand zwischen zwei Punkten ist offenbar ein linearer Wert. Unser arithmetischer Ausdruck für die Sehschärfe ist also vollkommen richtig, solange wir uns bei der Prüfung derselben an die Definition dieser Funktion halten.

In VIERORDT's Artikel handelt es sich aber einmal um Versuche, die mit einzelstehenden schwarzen Punkten auf weißem Grunde vorgenommen wurden. Unter diesen Umständen hat der gelehrte Forscher vollkommen Recht. Die Erkennbarkeit solcher flächenhafter Objekte wächst selbstverständlich mit dem Quadrate ihres Durchmessers, oder sie ist umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernung. Auf diese Weise wird aber nicht der Formsinn, sondern der Lichtsinn der Netzhaut bestimmt.

VIERORDT's Einwand bezieht sich sodann aber auch auf SNELLEN's Probebuchstaben. Hier wird derselbe dadurch erklärlich, dass SNELLEN in den Beschreibungen seiner Sehproben überall deren quadratischen Bau betont[1]).

Wäre diese quadratische Form das Maßgebende, so hätte VIERORDT wiederum Recht, denn das Netzhautbild von Quadraten ist eben proportional dem Quadrate der Seite, und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung derselben. Ein 2mal höherer SNELLEN'scher Buchstabe bedeckt eine 4mal, und nicht eine 2mal größere Fläche.

Die Sehzeichen sollen aber eben so konstruiert sein, dass zu ihrem Erkennen nicht die flächenhafte Ausdehnung, sondern allein die Unterscheidung

1) »Als einfachen und leicht zu vergleichenden Maßstab für die Sehschärfe nehmen wir als Einheit einen Sehwinkel von 5 Minuten zum Erkennen quadratischer Buchstaben, deren Linien und Interlinien 1/5 ihrer Höhe betragen.« — SNELLEN's Sehproben. »These figures should be square« (129).

von getrennten Punkten erforderlich ist. Diese Regel entscheidet über die Zweckdienlichkeit der Prüfungsobjekte zur Bestimmung der Sehschärfe.

Wir haben oben gesehen, dass nur sehr wenige Buchstaben, viel eher Gruppen von Punkten und parallelen Linien derselben gerecht werden. Was die Sehzeichen betrifft, denen wir den Vorzug geben, so erinnern wir daran, dass sie als zu Ringen gebogene Linien zu betrachten sind. Der so entstandene schwarze Ring, obschon einen weißen Kreis umschließend, hat doch nicht mehr flächenhafte Ausdehnung als die Linie. So wird denn auch die Lücke in beiden auf dieselbe Entfernung erkannt, und dürfen wir, beim Kreise wie bei der Linie, die Sehschärfe als dem Durchmesser der Lücke umgekehrt ihrer Entfernung direkt proportional ansehen.

Wir haben allerdings oben auseinandergesetzt, dass, bei der Erkennbarkeit der Lücke, außer ihrem Durchmesser, auch derjenige des Striches in Betracht kommt. Dies ist jedoch durchaus nicht etwa in dem Maße der Fall, dass die Lücke als eine Fläche zu betrachten wäre. Verringert man z. B., bei gleichbleibender Lücke, die Dicke des Striches auf die Hälfte, so fällt die Sichtbarkeit derselben nicht auf 0,5, sondern nur auf 0,8.

Nichtsdestoweniger dürfte gegen die lineare Ausdrucksweise des Sehschärfegrades noch weniger einzuwenden sein, wenn, bei der Bestimmung derselben, die Dicke der Striche, resp. Ringe, konstant, der Durchmesser der Lücke allein veränderlich wäre.

So könnte man beispielsweise als einzige Figur zur Sehprüfung den größten Ring unserer Sehzeichen wählen, dessen Lücke auf 5 m unter einem Winkel von 1′ erscheint, und, für die höheren Grade der Sehschärfe, einfach den Durchmesser der Lücke verkleinern. (Zur Sehprüfung würde man derselben natürlich verschiedene Richtungen geben.) Da aber, wie gesagt, das Verhältnis zwischen der Lücke und der Dicke des Striches einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Erkennbarkeit derselben ausübt, so ist auch die Sichtbarkeit einer 1′ entsprechenden Lücke in einem Ringe der Nummer 0,1 nicht die gleiche, wie die einer gleichen Lücke in dem 10mal kleineren Ringe der Nummer 1 unserer Sehproben. Die erstere verhält sich zur letzteren wie 2,26 zu 1 [1]).

So konstruierte Sehzeichen würden also Resultate ergeben, welche von den mit den bisher gebrauchten Sehzeichen erhaltenen bedeutend verschieden wären. Unsere gegenwärtige Sehschärfeeinheit würde somit eine ganz andere werden. Der Vorschlag zu einer so tiefgreifenden Änderung scheint mir denn auch heute noch verfrüht (154).

§ 142. Wie gesagt, hat schon im Jahre 1878 Giraud-Teulon (70) die Bestimmung der Sehschärfe als die »Recherche du minimum separabile«

1 Wäre die Sichtbarkeit proportional der Flächenausdehnung der Lücke, so müsste das Verhältnis sein wie 10 zu 1.

definiert, hauptsächlich JAVAL gegenüber, der zu Prüfungsobjekten derselben einfach viereckige Punkte und Kreise von verschiedener Größe vorschlug. Die damit gefundene Sehfunktion war selbstverständlich umgekehrt proportional der kleinsten Fläche, direkt proportional dem Quadrate der größten Entfernung, in welcher dieselben noch erkannt werden.

Solche Objekte entsprechen aber nicht der Definition der Sehschärfe. Sie können also auch nicht zur Messung derselben verwendet werden. Ihre Sichtbarkeit hängt ab von dem Lichtsinne und nicht vom Formsinne der Netzhaut. Die beiden Funktionen, wenn auch nahe verwandt, dürfen doch nicht miteinander verwechselt werden. Abgesehen von mancherlei krankhaften Zuständen des Auges, bei welchen die beiden Funktionen ungleich angegriffen sind, wo z. B. bei gutem Lichtsinne der Formsinn gänzlich aufgehoben ist, erinnern wir uns nur an die Verhältnisse der beiden im normalen Auge! Da ist die Sehschärfe sozusagen auf die Makula beschränkt, jedenfalls 15 Grade davon entfernt beinahe Null (75), während der Lichtsinn auf der ganzen Ausdehnung der Netzhaut besteht, ja dem Centrum nahe sogar noch vorzüglicher ist, als im Centrum selbst[1]).

Nichtsdestoweniger hat JAVAL (106, 141, 150) auch in neuerer Zeit wieder quadratische und kreisförmige Flächen zur Sehprüfung empfohlen, so z. B. ein weißes papierenes Lineal mit schwarzen Vierecken, deren Dimensionen in geometrischer Progression zunahmen. Die Seite des kleinsten maß $^1/_4$ mm, die des größten 8 mm. Ersteres soll dem Einheitsauge in 25 cm noch sichtbar sein, während, auf 4 m, das Quadrat von 2 mm Seite der Sehschärfe desselben entsprechen soll. Von da an verhalten sich die Seiten der Quadrate wie 2 : 2,8 : 4 : 5,6 : 8, d. h. die Seite ist jeweilen gleich der Diagonale des vorhergehenden Quadrates. — Am internationalen medizinischen Kongresse zu Paris (1900) zeigte der Autor eine reduzierte Ausgabe dieser Quadrate mit danebenstehenden Buchstaben zum Sehen in der Nähe.

Kreisförmige isolierte Punkte, resp. Flächen sind von GUILLERY (93 u. 96) zur Sehprüfung vorgeschlagen worden. Als Einheit dieser Prüfungsobjekte wählt der Verfasser einen Punkt, der auf 5 m unter einem Winkel von 50″ erscheint. Derselbe hat einen Durchmesser von 1,212 mm. Der Flächeninhalt dieses Punktes verhält sich zu den nachfolgenden wie 1 : 2 : 3 u. s. w. Die entsprechenden Grade der Sehfunktion werden als 1, $^1/_2$, $^1/_3$ u. s. w. bezeichnet. GUILLERY's Tafel enthält auch noch kleinere Punkte als die Einheit. Der Durchmesser des kleinsten entspricht, in 5 m, einem Gesichtswinkel von 25″.

1) Einen weiteren Unterschied zwischen den beiden Funktionen haben auch A. BROCA's und D. SULZER's Untersuchungen dargethan. Nach denselben erfordert der Formsinn eine bedeutend größere Lichtenergie (Produkt aus Lichtintensität und Zeit ihrer Einwirkung), als der Lichtsinn (146).

Um Täuschungen auszuschließen, zeichnet der Verfasser auf eine Tafel mehrere Vierecke, von denen jedes nur einen Punkt enthält. Der Ort desselben ist in den verschiedenen Vierecken ein verschiedener, bald liegt er in der Mitte, bald in einer Ecke derselben. Einzelne Vierecke sind auch leer. Der Untersuchte hat den Ort anzugeben, wo er den Punkt vermutet[1].

Die Prüfung des Nahesehens.

§ 143. Wir bezeichnen diesen Paragraphen absichtlich nicht mit »Sehprüfung in der Nähe«. Wir haben in der That die Gründe angegeben, warum die Prüfung der Sehschärfe auf größere Entfernung vorgenommen werden soll. Nichtsdestoweniger ist es von großer Bedeutung, die Tüchtigkeit der Augen im Sehen auf kurze Entfernung zu prüfen, werden dieselben doch in der civilisierten Welt ganz besonders bei der Nahearbeit in Anspruch genommen. Daraus geht hervor, dass die Prüfung des Sehens in der Nähe am besten mit Objekten und unter Verhältnissen vorgenommen wird, die denjenigen dieser Arbeit möglichst nahe kommen.

Den meisten der oben erwähnten »Sehproben« sind denn auch Lesestücke, Zahlen, Noten, oder sonstige Figuren beigegeben. Für Illitteraten finden wir auch hier die bekannten zwei- und dreizinkigen Haken in verkleinertem Maßstabe wieder.

Bei den Proben für das Nahesehen ist meistens die Entfernung vermerkt, in welcher dieselben unter einem Winkel von 5 Minuten erscheinen. Diese Angabe hat eine nur sehr relative Bedeutung. Die Gesichtswinkel lassen sich vom einen zum anderen Individuum nur dann vergleichen, wenn ihnen gleiche Netzhautbilder entsprechen. Dies ist aber beim gewöhnlichen Sehen in der Nähe durchaus nicht der Fall. Der Myope, der auf die Distanz seines Fernpunktes ohne Akkommodation arbeitet, erhält von demselben Objekte ein viel größeres Netzhautbild als der Emmetrope, oder gar der Hyperope, der auf dieselbe Entfernung akkommodierend scharf sieht. Einen anderen Einfluss auf die Größe der Netzhautbilder üben wiederum die Korrektionsgläser aus.

Dazu kommt noch der wichtige Umstand, dass das Lesen für verschiedene Personen einen ganz verschiedenen Prozess darstellt. Der darin Ungeübte muss jeden Buchstaben, jedes Zeichen einzeln entziffern, und bedarf dazu deutlicherer, ja wohl auch größerer[2] Netzhautbilder, besonders guter Beleuchtung und einer besseren Sehschärfe, als der des Lesens Gewohnte. Für den letzteren bildet, wie schon gesagt, das Wort in seiner Gesamtheit eine Figur, deren Sinn er mit Hilfe der benachbarten Worte und

---

1) Zur Kritik derartiger »Sehproben« vgl. auch Liebrecht (126), Schenk (137a) und Pergens (145).

2) Dadurch mag sich wohl zum Teil die Manie der Kinder erklären, ihre Lesebücher ungebührlich nahe zu bringen.

des vorher Gelesenen errät. So sehen wir z. B. Leute unter den allerungünstigsten Verhältnissen, im Dunkeln, mit Zerstreuungskreisen, mit sehr herabgesetzter Sehschärfe, Zeitung lesen. Stoßen sie dabei auf einen Eigennamen, ein Fremdwort, das sie nicht erraten können, so sind sie durchaus nicht im stande, dasselbe zu entziffern; der beste Beweis dafür, dass eben ihr gewöhnliches Lesen kein Entziffern, kein Buchstabenerkennen ist.

Lesestücke, einzelne Buchstaben, Ziffern, Noten, Haken sind außerdem, wie schon oben bemerkt, untereinander durchaus nicht direkt vergleichbare Sehproben.

Mag es denn auch interessant sein, den diesen Sehzeichen für eine gewisse Entfernung entsprechenden Gesichtswinkel zu kennen, so scheint es uns doch logischer und einfacher, die zur Prüfung des Nahesehens verwendeten Objekte vor allem nach ihren Dimensionen zu bezeichnen; dazu mag man beispielsweise setzen die Entfernung, in welcher sie ein emmetropisches, akkommodierendes Auge unter den günstigsten Verhältnissen erkennt. Allein, diese Entfernung mit derjenigen des untersuchten Auges zu einem Bruche zu verschmelzen, der dessen Sehschärfe ausdrücken soll, geht nicht an. Besser ist es, man giebt das Resultat der Probe des Nahesehens unreduziert an, z. B. »liest Jaeger No. 3 in 30 cm«, oder »erkennt Snellen's Haken No. X in 25 cm« u. s. w.

Die Ausdrucksweise ist nicht einfach, aber doch klar und richtig. Sie täuscht nicht durch den falschen Schein mathematischer Genauigkeit.

Die meisten der zu erwähnenden Proben für das Nahesehen sind Schwarz auf Weiß gedruckt. Die bekanntesten und best ausgeführten sind diejenigen von E. v. Jaeger (39), die zum ersten Male im Jahre 1854 in Wien erschienen sind, und seither eine Reihe neuer Auflagen erlebt haben, die letzte im Jahre 1895, modifiziert von Prof. Fuchs.

Sie enthalten 20 verschieden große Lesestücke in verschiedenen Sprachen; auch Notenblätter sind denselben beigefügt. Die sie bezeichnenden Nummern geben allerdings an sich über ihre Dimensionen keinen Aufschluss. Ihre Durchmesser sind folgende, und sie erscheinen, nach Snellen (42), in folgenden Entfernungen unter einem Winkel von 5 Minuten.

No.	Durchmesser		Entfernung		
1	0,2 Pariser Linien	=	1 Pariser Fuß	=	0,325 m
2	0,45	=	2	=	0,65
7	0,6	=	3	=	0,975
11	0,85	=	4	=	1,3
13	1,15	=	5	=	1,6
14	1,5	=	7	=	2,3
18	3,75 » »	=	17 » »	=	5,5
19	5,3 » »	=	27 » »	=	8,8
20	8	=	37	=	12

Nicht minder bekannt und weit verbreitet sind SNELLEN's Leseproben, die seit 1862 ebenfalls in vielen Sprachen erschienen sind. Über jeder Serie steht eine Zahl, welche in Fuß und Meter (von $1^1/_2$ [0,5] bis 16 [5,3]) die Entfernung angiebt, in welcher die Buchstaben derselben unter einem Winkel von 5 Minuten erscheinen. In Metern sind die Serien folgende: 0,5, 0,6, 0,8, 1, 1,1, 1,3, 1,6, 2, 2,5, 3,2, 4,2, 5,2.

SCHWEIGGER, BÖTTCHER, SCHNELLER, NICATI, WOLFFBERG, die PETERSBURGER AUGENKLINIK, überhaupt die meisten Herausgeber von Sehproben, haben denselben auch Leseproben in verschiedenen Sprachen beigefügt. Den Vorzug verdienen jeweilen die am reinsten ausgeführten.

DE WECKER's (66) und PARINAUD's (87) Leseproben enthalten auch eine Tafel zur Prüfung des Licht- und Farbensinnes, v. GRAEFE's von einer vertikalen Linie durchzogenen Punkt zur Bestimmung der sogenannten »Asthenopie musculaire« und die Angabe der Akkommodationsbreite für verschiedene Altersjahre, zur Berechnung der Presbyopie[1].

JAVAL (68) hat eine kleine Tafel konstruiert zur Bestimmung der Sehschärfe, des Einflusses der Beleuchtung und der Leserlichkeit verschiedener Typen in kurzer Entfernung. Das Blatt enthält fünf Zeilen mit Buchstaben. Sind die Buchstaben jeder Zeile untereinander gleich hoch und gleich breit, so nehmen die sie bildenden Striche von links nach rechts an Dicke ab, während von oben nach unten die Dimensionen der Buchstaben sich verjüngen. Der größte Buchstabe hat 8 mm Höhe und seine Komponenten haben 4 mm Dicke, der kleinste hat 0,5 mm Höhe und seine Komponenten haben 0,0625 mm Dicke. Das Verhältnis zweier benachbarter Gruppen ist, wie bei J. GREEN, überall dasselbe; sie verhalten sich wie $^1/_2 : 1 : 2 : 4 : 8$.

OLIVER's (81) »Test words for the determination of the Power of Accommodation« etc. bestehen aus fünf Serien verschieden großer lateinischer Lettern, genau nach SNELLEN's Prinzip, für 0,5, 0,75, 1, 1,5 und 2 m Entfernung. Die Serien enthalten 4, 3 oder 2 Gruppen, bestehend aus Worten, die von 4 resp. 3 Buchstaben gebildet sind. Der Hauptvorzug dieser Leseproben liegt in ihrer äußerst sorgfältigen Ausführung. Der Grund ist rein weiß, glatt aber nicht glaciert, die Lettern sind in reinem Schwarz mit Stahlstich gedruckt. Der Karton (11 auf 18 cm) lässt sich in einen handlichen, schwarzen Rahmen einführen, und wird so vor dem Beschmutzen durch die denselben haltende Hand geschützt.

STEIGER (140) bedient sich zur Prüfung des Nahesehens offener Vierecke, mit Angabe einerseits der Entfernung, in welcher sie $V = 1$ ergeben sollen, andererseits der ihnen auf 25 cm entsprechenden Sehschärfe.

1) DE WECKER's Ausgabe von 1898 enthält eine falsch kopierte Tabelle der Presbyopie »nach LANDOLT«. Wir verweisen den Leser, was diesen Gegenstand betrifft, auf das unter 121 citierte Opusculum, sowie auf § 82 dieses Kapitels.

Dohnberg (98) hat in ähnlicher Weise dreizackige Haken für folgende Entfernungen angegeben: 4, 3,5, 3, 2,5, 2, 1,5, 1, 0,75, 0,5, 0,25 m.

Guillery (93) verwendet zur Prüfung des Sehens in der Nähe einfache Figuren, wie Kreise, Vierecke, Dreiecke, die er in zehn verschiedenen Abstufungen hat ausführen lassen, und zwar so, dass sie den Jaeger'schen Leseproben entsprechen sollen.

Albertotti (69) hat Schrifttafeln auf grauen Grund von verschiedener Helligkeit drucken lassen, die in bestimmten Entfernungen zu lesen sind.

Da es sich bei der Untersuchung des Sehens in der Nähe hauptsächlich um die Feststellung der Tauglichkeit des Auges für eine bestimmte Art der Arbeit handelt, so empfiehlt es sich, das Sehen unter den gewünschten Verhältnissen selbst direkt zu prüfen: Malen, Noten-, Buchstaben-, Zahlenlesen, Hefte korrigieren, Manuskripte entziffern, Nähen, Sticken, Gravieren u. s. w. gehören alle unter die Arbeit in der Nähe. Das Sehen geschieht dabei aber in sehr verschiedener Weise. Ein und dieselbe Prüfung des Nahesehens kann unmöglich für alle diese verschiedenen Arten des Sehens gleich maßgebend sein.

Um dem Patienten einen möglichst guten Dienst zu leisten, oder zu entscheiden, ob seine Augen für eine gegebene Arbeit wirklich tauglich sind, müssen wir uns dazu bequemen, ihn bei dieser Arbeit selbst, in der erforderten Stellung, bei der ihm dabei zur Verfügung stehenden Beleuchtung, zu untersuchen. Dies ist auch ganz besonders zur Kontrolle der optischen Einstellung und der gegenseitigen Richtung (Konvergenz) der Augen notwendig (143).

Litteratur zu Abschnitt VII.

1705. 1. Hooke, Posthumous works. S. 12 u. 97.
1738. 2. Smith, A complete System of Optics. I. S. 31. (Übersetzung von Kästner. S. 20.)
3. Jurin, Essay on distinct and indist. vision. Optics. I. S. 149.
1749. 4. Buffon, Histoire naturelle. Paris. I. S. 279.
1754. 5. Mayer, Tob., Comment. Götting. IV. S. 97 u. 135.
1759. 6. Porterfield, On the eye. II. S. 58.
1830. 7. Holke, Disquis. de acie oculi dextri et sinistri. Lipsiae.
1831. 8. Ehrenberg, Pogg. Ann. XXIV. S. 36.
1840. 9. Hueck, J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 82.
10. Müller, J., Handbuch der Physiologie. II. S. 82.
1841. 11. Burow, Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges. S. 38. Berlin.
1843. 12. Küchler, Die Schriftnummerproben für Gesichtsleidende. Darmstadt.
1846. 13. Volkmann, Sehen. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. III. S. 321 u. 335.
1849. 14. Davy, Marié, Institut. No. 709. S. 59.
1850. 15. v. Humboldt, A., Kosmos. III. S. 111.
1852. 16. Weber, E. H., Verhandl. d. sächs. Ges. S. 145.

1854. 17a. Smee, Alfred, The eye in health and disease. S. 70. London.
17b. Jaeger, E., Ritter v. Jaxtthal, Schriftskalen. 1. Aufl.
1855. 18. Stellwag von Carion, Die Akkommodationsfehler des Auges.
19. Stellwag von Carion, Sitzungsberichte d. math.-naturw. Kl. d. Akad. d. Wissensch. XVI. S. 87.
1857. 20. Bergmann, Henle u. Pfeuffer, Zeitschr. f. rat. Med. II, 3. S. 88.
21. Aubert und Förster, Untersuchungen über den Raumsinn. Arch. f. Ophth. III, 2. S. 1.
1860. 22. Striedinger, Statistical sanitary and medical reports.
1862. 23. Snellen, Echelle typographique, pour mesurer l'acuité de la vision. Utrecht.
24. Snellen, Scala tipografica per mesurare il visus. Utrecht.
25. Vroesom de Haan, J., Onderzoekingen naar den invloed van den leeftyd op de gezichtsscherpte. 3. Verslag. Nederl. Gasthuis voor Ooglyders. S. 229.
1863. 26. Vierordt, H., Über die Messungen der Sehschärfe. Arch. f. Ophth. IX, 1. S. 161.
27. Donders, F. C., Sehschärfe. Arch. f. Ophth. IX, 2. S. 220.
28. Vierordt, H., Über die Messung der Sehschärfe. Arch. f. Ophth. IX, 3. S. 219.
29. Giraud-Teulon, Echelle régulièrement progressive, destinée à servir à la mesure exacte des différents degrés de netteté et d'étendue de la vue distincte. Paris.
30. Volkmann, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.
1864. 31. Donders, F. C., On the anomalies of accommodation and refraction of the eye. S. 194. London. Ins Deutsche übersetzt von O. Becker.
1865. 32. Aubert, Physiologie der Netzhaut. S. 189, 215, 225 u. 579.
33. Kugel, L., Über die Sehschärfe bei Astigmatismus. Arch. f. Ophth. XI, 1. S. 106.
1866. 34. Hensen, Über eine Einrichtung der Fovea centralis, welche bewirkt, dass feinere Distanzen als solche, die dem Durchmesser eines Zapfens entsprechen, noch unterschieden werden können. Arch. f. path. Anat. XXXIV, 3. S. 401. Ref. in Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. IV. S. 197.
35. Derby, H., On the necessity of employing greater accuracy in ascertaining and expressing the degree of acuteness of vision. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. New York.
36. Vroesom de Haan in Donders Anomalien der Refraktion und Akkommodation. S. 160.
37. Volkmann, Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 649.
38. v. Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Aufl. S. 256.
1867. 39. Jaeger, E., Ritter von Jaxtthal, Schriftskalen, deutsch, französisch, englisch, polnisch, italienisch, griechisch, hebräisch. Taschenformat: Deutsch, französisch, englisch.
1868. 40. Snellen, H., Test-types for the determination of the acuteness of vision. 4. Ed. (englisch, französisch, italienisch, deutsch, holländisch). Utrecht.
41. Snellen, H., Russische Lettertafel. Utrecht.
42a. Snellen, H., Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe. 4. Aufl. (Deutsch mit gothischen Lettern.) Berlin.
42b. Snellen, H., Lettras-provas, para servir de guia no conhecimento do alcance da vista. Utrecht.
1869. 43. Burchardt, Internationale Sehproben. Berliner klin. Wochenschr. No. 48.
44. Green, John, On a new series of test-letters for determining the acuteness of vision. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. IV u. V. S. 68 und John Green and E. Ewing, Test-letters. St. Louis. 1886.
45. Lommel, Zeitschr. f. Math. u. Physik. S. 29.

1870. 46. Reich, M., Tafel von verschiedenen Zeichnungen für die Untersuchung der Sehschärfe bei Leuten, die keine Buchstaben kennen. Milit. med. Zeitschr. Petersburg. XII. (Russisch.)
47. Pray, Probebuchstaben zur Prüfung des Astigmatismus. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. I, 1. S. 147.
48. Heymann, Astigmatismustafeln nach Dr. Pray. 2 Taf. und Text. Leipzig.
49. Boettcher, Geometrische Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe bei Funktionsprüfungen des Auges. Mit besonderer Berücksichtigung der Untersuchung Militärpflichtiger. Berlin.
50. Cowell, George, Test-types, for determining the acuteness of vision, after, but slightly smaller than those of Dr. H. Snellen. London.
51. Bellarminoff, Über die Tauglichkeit und Genauigkeit der vorhandenen Probebuchstaben für Bestimmung der Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XVI. S. 284.
1871. 52. Cohn, H., Die Sehschärfe von 244 Augen. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 324.
53. Burchhardt, M., Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Sehweite. 2. Aufl. Kassel.
54. Fürst, Quelques remarques concernant les épreuves internationales de M. Burchhardt. Ann. d'Ocul. LXVI. S. 36.
1872. 55. Schmidt, Herm., Kurze Anleitung zur Untersuchung der Refraktion, Akkommodation und Sehschärfe. Marburg.
56. Jeffries, Sehschärfe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. X. S. 587.
57. Mauthner, L., Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. S. 117. Wien.
1873. 58. Klein, L'influence de l'eclair. sur l'acuité visuelle. Paris.
59. Gempak, Ito, Snellen's Lettertafel im Japanischen. Utrecht.
60. Hering, E., Die Lehre vom Lichtsinne.
1874. 61. Snellen, H., Bestimmung der Sehschärfe. In Snellen und Landolt, Die Funktionsprüfungen des Auges. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. III. S. 5. 1. Aufl.
1875. 62. Monoyer, Echelle typogr. décimale pour mesurer l'acuité de la vue. Acad. des Sc. Compte rendu. LXXX. S. 1137.
1876. 63. Boettcher, Geometrische Sehproben. Berlin.
64. Schweigger, Sehproben. Berlin, A. Hirschwald.
65a. Aubert, Physiologische Optik. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl. II. S. 580.
65b. Aubert l. c. S. 578.
1877. 66. de Wecker, Echelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle etc. Paris.
67. Snellen, H., Optotypi ad visum determinandum. 5. Ed. Metrico systemate. Berlin.
1878. 68. Javal, Essai sur la physiologie de la lecture. Ann. d'Ocul. LXXX. S. 143; LXXXI. S. 61 u. LXXXII. S. 72 u. 159.
69. Albertotti, Sul rapporto tra l'accutezza visiva et l'illuminazione. Ann. di Ottalm. VII. S. 7.
1879. 70. Giraud-Teulon, L'acuité visuelle, de ses éléments et de leur mesure. Ann. d'Ocul. I. S. 215.
71. Maurel, Appreciation de l'acuité visuelle etc. Ann. d'Ocul. LXXXII. S. 100.
1880. 72. Altmann, Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 111.
1881. 73. Salzer, Sehschärfe. Inaug.-Diss. Wien.
74. du Bois-Reymond, Claude, Über die Zahl der Empfindungskreise in der Netzhautgrube. Diss. inaug. Berolini.
75. Landolt, E., Les fonctions rétiniennes. Arch. d'Opht. I. S. 193.
1882. 76. Mayerhausen, Ziffertafeln zur Bestimmung der Sehschärfe. Berlin.

1882. 77. de Lépinay, Macé, und Nicati, Ann. de Physique et de Chimie. 5. Sér. XXIV. 1881; Compte rend. XCIV. S. 785; Journ. de Physique. 1. Sér. I. S. 33.

78. Leroy, Optique physiologique; vision centrale, irradiation et acuité visuelle. Arch. d'Opht. II. S. 22 und Quelques considérations sur les variations du diamètre de l'image sensible d'un point lumineux. Arch. d'Opht. III. S. 245.

1884. 79. Nuel, J. P., De la vision entoptique de la fovea centralis et de l'unité physiologique de la rétine. Ann. d'Ocul. Mars.

80. Cohn, Untersuchungen über die Sehschärfe bei abnehmender Beleuchtung. Arch. f. Augenheilk. XIII. S. 223.

1885. 81. Oliver, Ch. A., A new series of metric test-lettres etc. Amer. Ophth. Soc. July und Test words for the determination of the power of accommodation. Philadelphia, Wale & Ochs.

82. Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe, herausgegeben vom Petersburger Augenspital. (2. Aufl. 1893.) Petersburg, C. Rilker.

83. Kolbe, Über den Einfluss der relativen Helligkeit und der Farbe des Papieres auf die Sehschärfe. Westnik Ophth. II. S. 289 u. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXVII. S. 562.

1886. 84. du Bois-Reymond, C., Seheinheit und kleinster Sehwinkel. Arch. f. Ophth. XXXII, 3. S. 1.

85a. Uhthoff, Das Abhängigkeitsverhältnis der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. Arch. f. Ophth. XXXII, 1. S. 171.

85b. Wolffberg, Die entoptische Wahrnehmung der Fovea u. s. w. Arch. f. Augenheilk. XVI. S. 1.

1888. 86. Landolt, E., Optotypes simples. Soc. franç. d'Opht. S. 213 u. 465.

87. Parinaud, Echelle optométrique. Paris.

1889. 88. Culver, C. M., Test-types. Albany med. Ann. Nov.

89. Landolt, E., Tableau pour la détermination de l'acuité visuelle. Soc. franç. d'Opht. S. 157 u. Planche d'objets types en verre émaillé.

90. Lotz, A., Echelle internationale à lignes simplifiées pour l'examen de la force visuelle centrale chez les illettrés etc. Basel.

1890. 91. Uhthoff, Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität, sowie von der Wellenlänge im Spektrum. Arch. f. Ophth. XXXVI, 1. S. 33.

92. Landolt, E., Nouvelles recherches sur la physiologie des mouvements des yeux. Arch. d'Opht. XI. S. 385.

1891. 93. Guillery, Vereinfachte Sehproben. Arch. f. Augenheilk. XXIII. S. 323.

94. Carl, Ein Apparat zur Prüfung der Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XXIV. S. 41.

95. Becker, Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 17.

1892. 96. Guillery, Nochmals meine Sehproben. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 79.

97. Wolffberg, Sehschärfeproben. Breslau.

98. Dohnberg, Sehproben nach metrischem System zur Bestimmung der Sehschärfe. Petersburg.

99. Steiger, A., Einheitliche Sehproben u. s. w. Hamburg, Leop. Voss.

100. Krükow, A., Leseproben und Tabellen zur Untersuchung der Sehschärfe. 2. Aufl. Moskau.

101. Liebrecht, Kritische Bemerkungen zu Guillery's Sehproben. Arch. f. Augenheilk. XXV. S. 37.

102. Norrie, G., Sehproben für Seeleute. Nationallidendes Söfartlidende.

103. Schanz, Einfluss der Pupillaröffnung auf das Sehen der Aphakischen. Ges. deutscher Naturf. Halle.

104. Nicati, W., Echelle physiologique de l'acuité visuelle. Applications à la photométrie et à la photo-esthésiométrie. Compt. rend. de l'Acad. des Sc. 16. Mai.

1892. 105. Wülfing, Über den kleinsten Gesichtswinkel. Zeitschr. f. Biol. N. F. XI. S. 199.
1893. 106. Javal, Compt. rend. de la Soc. franç. d'Opht. S. 410.
107. Cohn, H., Transparente Sehproben. Berliner klin. Wochenschr. No. 27.
108. Groenouw, Sehschärfe der Netzhautperipherie. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 85.
109. Boerma, D., und Walther, K., Untersuchungen über die Abnahme der Sehschärfe im Alter. Arch. f. Ophth. XXXIX, 2. S. 71.
110. Wolffberg, Über die Funktionsprüfungen des Auges. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 158.
111. Straub, Proefletters. Leyden. Brill.
112. Albrand, Sehproben. Leipzig, Hartung & Sohn.
1894. 113. Nicati, W., Echelles visuelles. Soc. d'éditions scientifiques. Paris.
114. Guillery, Einiges über Formsinn. Arch. f. Augenheilk. XXVIII. S. 263.
115. Hilbert, R., Die durch Einwirkung toxischer Körper hervorgerufenen subjektiven Farbenempfindungen. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 28.
116. Bordier, H., Modifications de la grandeur des images rétiniennes par les verres correcteurs dans les différentes amétropies. Arch. d'Opht. S. 279.
1895. 117. Weiss, L., Sehprobetafeln. Wiesbaden.
118. Parent, H., Echelle optométrique. Arch. d'Opht. XV. S. 313.
119. Wolffberg, Über die diagnostische Bedeutung der Augenfunktionsprüfungen. Deutschmann's Beiträge z. Augenheilk. Heft 17.
120. Stettler, Hat der Flächeninhalt der Probebuchstaben Einfluss auf das Ergebnis der Sehschärfemessung? Deutschmann's Beiträge z. Augenheilk. Heft 18.
121. Landolt, E., et Gygax, Précis de thérapeutique ophtalmologique. Paris. S. 140. — Therapeutisches Taschenbuch für Augenärzte. Wiesbaden, Bergmann. S. 143.
1896. 122. Smith, Frederich R., The developpement of the test-card. Cleveland med. Gaz. Jun.
123. Pflüger, Optotypen, Sehproben und Sehprüfungen. Basel, C. Sallmann.
124. v. Helmholtz, Physiol. Optik. 2. Aufl. S. 25 u. 259.
125. Snellen, Bowman lecture. London.
1897. 126. Liebrecht, Bemerkungen zu der »Berichtigung« Dr. Guillery's. Arch. f. Augenheilk. XXXV. S. 262.
127. Reche, Bemerkung zur Messung der Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XXXVI. S. 143.
128. Guillery, Begriff und Messung der Sehschärfe auf physiologischer Grundlage. Arch. f. Augenheilk. XXXV. S. 35.
129. Snellen, H., Norris and Oliver's System of diseases of the eye. II. S. 15.
130. Laan und Pickemas, Versl. Nederl. Gasthuis voor Ooglid. No. 38 u. Snellen's Bowman lecture. S. 7.
1898. 131. Guillery, Bemerkungen über centrale Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XXXVII. S. 153.
132. Cohn, H., Über die Sehleistungen der Ägypter. Berliner klin. Wochenschrift. No. 20.
133. Brudzewski, Influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle etc. Arch. d'Opht. S. 692.
134. Hummelsheim, Einfluss der Pupillenweite auf die Sehschärfe. Arch. f. Ophth. XLVII. S. 387.
1899. 135. Cohn, H., Sehproben auf Porzellanplatten. Berliner klin. Wochenschr. No. 27.
136. Landolt, E., Optotypes pour la détermination de l'acuité visuelle. Arch. d'Opht. S. 465 u. Test-types for the determinations of acuteness of vision. Brit. med. Journ. Sept.

1899. 137a. Schenk, F., Referat über einige neuere Arbeiten zur Theorie der Sehschärfe. Zeitschr. f. Augenheilk. I. S. 377.

137b. de Obarrio, Sur le maximum de l'acuité visuelle. Internat. Ophthalmologenkongr. zu Utrecht. S. 365.

137c. Williams, Ch. H., Examination of the acuteness of vision etc. Journ. amer. med. Assoc. Okt. und Standard Test-Types.

138. Sulzer, Quelques remarques sur la mesure de l'acuité visuelle. Ann. d'Ocul. S. 445.

139. Hering, E., Über die Grenzen der Sehschärfe. K. sächs. Ges. d. Wissensch. Math.-phys. Kl. 4. Dez.

1900. 140. Steiger, A., Untersuchungen über Sehschärfe und Treffsicherheit. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. XXX. No. 1 u 2.

141. Javal, Notation de l'acuité visuelle. Congr. internat. des Sc. méd. Paris. Sect. d'Opht. S. 363.

142. Pergens, Historisches über Sehschärfebestimmung. Bericht d. ophth. Sekt. d. internat. med. Kongr. in Paris. S. 375.

143. Landolt, E., Congr. internat. des Sc. méd. Paris. Sect. d'Opht. S. 377 u. 378.

1901. 144. Landolt, E., Le tableau réduit des optotypes. Arch. d'Opht. Juni.

145. Pergens, E., Über Faktoren, welche das Erkennen von Sehproben beeinflussen. Arch. f. Augenheilk. XLIII, 2. S. 144.

146. Broca, A., et Sulzer, D., Inertie rétinienne relative au sens des formes. Acad. des Sc. Paris. Oct.

147. Presas, José, Nueva escala optométrica y chromo-fotométrica. Arch. d. oft. hispano-americanos. I, 2. S. 49.

148. Sulzer, De l'unité de mesure de l'acuité visuelle. Comm. faite à la Soc. d'Opht. de Paris. Ann. d'Ocul. Déc.

1902. 149. Heimann, E., Internationale Sehprobetafel für Kinder.

150. Javal, Acuité visuelle. Soc. d'Opht. de Paris.

151. Snellen, H., Optotypi. 16. Aufl.

152. Schoute, Les optotypes portatifs du Dr. Landolt. Arch. d'Opht. XXII. S. 242.

1903. 153. Mayeda, Ein Optometer. Med. Woche. Jan.

154. Landolt, E., La détermination de l'acuité visuelle. Arch. d'Opht. April. S. 194 u. De la nécessité de l'unification des échelles optométriques. Bericht am internat. Kongr. d. med. Wissensch. Madrid.

155. de las Cuevas, Jacinto, Nécessité de l'unification des échelles optométriques. Bericht am internat. Kongr. d. med. Wissensch. Madrid.

VIII. Die Untersuchung der Funktionen des excentrischen Netzhautgebietes.

Von

Dr. E. Landolt und **Dr. E. Hummelsheim.**

Mit Fig. 180—199.

§ 144. Als excentrisch bezeichnen wir die ganze Ausdehnung der Netzhaut, die außerhalb der Fovea centralis liegt. Im Gegensatze zu dem centralen oder direkten Sehen stellen ihre Funktionen also das excentrische oder indirekte Sehen dar.

Die Projektion des gesamten, für Licht empfindlichen Netzhautgebietes heißt das Gesichtsfeld. Dasselbe entspricht also dem Teile des Raumes, den ein unbewegtes Auge mit seinen Sehfunktionen beherrscht, resp. von dem aus es Gesichtseindrücke zu empfangen vermag.

Ehe wir auf die Funktionen des excentrischen Netzhautgebietes eingehen, beschäftigen wir uns mit der Frage, wie weit sich dasselbe erstreckt. Wir beginnen diesen Abschnitt also mit der Bestimmung der Grenzen des Gesichtsfeldes. Der Kürze halber können wir diese Untersuchung mit »Perimetrie« bezeichnen.

§ 145. Die Grenzen des Gesichtsfeldes. Die Grenzen des Gesichtsfeldes werden bestimmt durch die von der Gesichtslinie am weitesten entfernten Punkte im Raume, von denen aus Lichtstrahlen noch eine Lichtempfindung im Augeninnern hervorzurufen vermögen. Verschiedene Faktoren beeinflussen die Größe des Gesichtsfeldes:

1. Die Nachbarorgane des Auges. a) Lider. Hebung des oberen Lides erweitert fast stets die obere Grenze, die temporale lässt sich bei tiefliegendem Auge durch Zurückziehen der äußeren Kommissur hinausrücken.

b) Das Orbitalgerüst mit den dasselbe bedeckenden Weichteilen. Oberer und auch unterer Augenhöhlenrand, Nase, Augenbraue, Wange und Schnurrbart können dem Auge, besonders bei tiefer Lage des Bulbus, einen erheblichen Teil seines Gesichtsfeldes rauben (34).

2. Die Weite der Pupille. Helmholtz (173) und Matthiessen (76) schreiben diesem Moment eine erhebliche Bedeutung zu. Wie Groenouw (133) gezeigt und Guillery (193) bestätigt hat, fängt jedoch der Pupillarrand erst dann an, die äußersten Strahlen, die überhaupt noch in das Innere des Auges dringen können, abzublenden, wenn der Durchmesser der Pupille kleiner ist als 3,5 mm. Diese Größe entspricht aber nach den Messungen von Silberkuhl (179) ungefähr der mittleren Pupillenweite; nur in höherem

Alter ist diese etwas geringer. Im allgemeinen wird daher die Erweiterung der Pupille keinen erheblichen Einfluss auf die Gesichtsfeldgrenzen ausüben. Auch bei Atropinmydriasis hat man einen solchen durchweg nicht gefunden (67, 90, 93, 166). Purkinje (1) jedoch beobachtete eine Vergrößerung seines Gesichtsfeldes in der temporalen Hälfte des horizontalen Meridians von 100° auf 115°. Für die extremen Zustände der Pupillenweite bei zuerst miotischer und dann mydriatischer Pupille erhielt Baas, wie dies nach den obigen Ausführungen zu erwarten war, einen Unterschied der Gesichtsfeldgrenzen zu Gunsten der letzteren.

v. Graefe (11) berichtet, dass bei einem Auge mit abnorm verengter Pupille infolge von Sympathicuslähmung das Gesichtsfeld nach der Heilung weiter geworden sei.

Derartige Versuche sind dadurch kompliziert, dass die Mydriatica und Miotica zugleich die Akkommodation in Mitleidenschaft ziehen: die Wirkung der Pupillenveränderung wird auf diese Weise mehr oder minder aufgehoben (s. u.). So vermisste Landolt (72) für seine eigenen Augen bei maximaler Atropinmydriasis und hochgradiger Miosis durch Eserin eine Verschiebung der Grenzen.

Die Pupillenweite beeinflusst also nur unter gewissen Umständen die Größe des Gesichtsfeldes. Für die Funktionen des indirekten Sehens hat sie jedoch, wie hier schon gesagt sein soll, eine große Bedeutung, da von ihr die Menge des in das Auge dringenden Lichtes wesentlich abhängt.

Charpentier (67) hat nach Eserineinträufelung das Gesichtsfeld auf die Grenzen der Farbenempfindung geprüft und es für sämtliche Farben erheblich eingeengt gefunden, besonders für Blau, etwas weniger für Grün, für Rot am wenigsten. Allerdings war auch wegen der verringerten Lichtstärke die centrale Farbenwahrnehmung etwas abgeschwächt, jedoch nur wenig im Vergleich mit der Peripherie. Maximale Atropindilatation erweiterte andererseits das Farbengesichtsfeld des Beobachters um 2 bis 8°.

3. Die Akkommodation. Schon v. Graefe (12) verzeichnet eine Beobachtung Liebreich's, dass das Gesichtsfeld bei der Akkommodation für die Nähe weiter werde. Schneller (80) giebt die Erweiterung auf 1,5 bis 3,0° an nach beiden Seiten des horizontalen Meridians, bei Akkommodation auf den üblichen Perimeterradius (s. u.), Emmert (l. c.) bei starker Akkommodationsanstrengung auf 1,5 bis 2,5° in 6 Meridianen nach jeder Richtung hin, auch für farbige Objekte. Butz (l. c.) fand, indem er den Fixationspunkt in vier verschiedene Entfernungen vom Auge brachte, dass die Grenze mit der Verringerung des Fixierpunktabstandes für die beiden Hälften des horizontalen Meridians stetig hinausrückte, während sie sich vertikal nach oben hin kaum merklich, nach unten etwas mehr verschob. Rückte die Fixiermarke von 5,5 m auf 10 cm an das Auge heran, so betrug

die Differenz nach außen ca. 2,5°, nach innen ca. 2°, nach unten 1°. DONDERS (l. c.) hingegen vermochte eine Veränderung der Grenzen im gedachten Sinne nicht zu finden.

Die Erweiterung des Gesichtsfeldes bei der Akkommodation für die Nähe kann einmal, worauf HELMHOLTZ (l. c.) hinweist, bedingt sein durch die Lage der Pupillarebene zum Hornhautrande. Die Pupille ist etwas hinter dem Limbus gelegen; je mehr sie nun beim Sehen in die Nähe an die Cornealbasis heranrückt, um so peripherer auffallende Strahlen gelangen noch in die Pupille und damit zur Perception. Nicht zu vergessen ist jedoch, dass die Pupille, indem sie vorrückt, zugleich enger wird, und da ihr Durchmesser im Mittel, wie wir sahen, die Grenze darstellt, bei der eine Abblendung des äußersten »Grenz«-Strahles noch eben vermieden bleibt, so müsste mit der Verengerung der Pupille auch das Gesichtsfeld kleiner werden; es sei denn, dass eben jenes Vorrücken der Iris einen Ausgleich schafft. Nach GUILLERY's (l. c. Berechnung ist dies wirklich der Fall; es findet sogar eine Überkompensation statt.

Weiterhin wird auch die Vorwölbung der vorderen Linsenfläche die Gesichtsfeldgrenze hinausrücken, da hierdurch noch Strahlen ins Augeninnere gelangen können, die so peripher auffallen, dass sie im ruhenden Auge durch die Iris abgeblendet würden. GUILLERY (l. c.) berechnet die dadurch mögliche Gesichtsfelderweiterung an dessen äußerster Grenze auf 3 bis 4°.

LANDOLT (l. c.) hat das Gesichtsfeld seines linken Auges, dessen Pupille durch Eserin eine Verengerung bis auf einen Durchmesser von etwa 1 mm erfahren hatte, untersucht. Er fand keine Einschränkung gegenüber der Norm. Die Eserinwirkung hatte die Refraktion um 8,5 D. erhöht, während nach dem DONDERS'schen Schema dem Auge bei diesem Alter nur eine Akkommodationsbreite von 7,0 D. zugekommen wäre.

Endlich bliebe zu erwägen, ob nicht die Verschiebung von Aderhaut und Netzhaut im akkommodierenden Auge das Gesichtsfeld erweitere (101, 153). GUILLERY (l. c.) zeigte, dass dies Moment für die vordersten Abschnitte der Retina in Betracht kommen kann, für die centralwärts vom Äquator bulbi gelegenen konnte er im Gegensatz zu EMMERT (l. c.) einen Einfluss des Akkommodationsaktes nicht finden.

4. Die Form des Augapfels. In einem Auge mit langer sagittaler Achse liegt die vorderste Netzhautgrenze weiter hinter der Pupillarebene als in einem kurzgebauten. Die am meisten peripher einfallenden Lichtstrahlen werden in letzterem daher noch lichtempfindliche Netzhautpartien treffen, während sie in jenem schon nicht mehr zur Perception gelangen. Das Gesichtsfeld eines Auges mit Achsenmyopie muss demgemäß enger sein als dasjenige des achsenhypermetropischen.

USCHAKOFF (32) giebt für die verschiedenen Refraktionszustände und die Schwankungen der Grenzen innerhalb jedes einzelnen folgende Zahlen:

Größte Ausdehnung im horizontalen Meridian	bei E.	= 142°,	kleinste	= 137°.
» vertikalen »	» »	= 120°,	»	= 114°.
» horizontalen »	» M.	= 140°,	»	= 100°.
» vertikalen »	» »	= 120°,	»	= 92°.
» horizontalen »	» H.	= 174°,	»	= 147°.
» vertikalen »	» »	= 146°,	»	= 123°.

Reich (40) traf unter 220 Augen noch größeren Spielraum zwischen den Maximal- und Minimalwerten an bei im allgemeinen dem gleichen Verhältnis der verschiedenen Brechungsarten untereinander. Pietsch (177) fixierte den Unterschied nach jeder Richtung hin auf etwa 2° für Weiß, für Blau und Rot auf etwa 3—7°, bezw. 1—4°. Nach Liévin's (71) Angabe beträgt er zwischen den beiden Arten der Ametropie 4—6°. Otto (175) fand bei einer größeren Anzahl hochgradig Kurzsichtiger meist starke konzentrische Einengung der peripheren Grenzen, Gelpke und Bihler (182) das Gleiche in der Hälfte ihrer Fälle. Nach Weiss' (195) Untersuchungen ist das Gesichtsfeld der Myopen im allgemeinen etwas klein, sowohl für Weiß als für Farben. Auch Baas (l. c.) giebt die Einschränkung der Außengrenzen bei der Myopie zu; an Hypermetropen hat er jedoch eine wesentliche Erweiterung nicht erhalten. Mauthner (65) allein bestreitet überhaupt, dass die verschiedenen Refraktionszustände einen charakteristischen Unterschied der Gesichtsfeldgröße aufweisen.

Erwähnt sei noch, dass Rählmann (43) die Perceptionsgrenze der einzelnen Farben in ihrem richtigen Tone in myopischen Augen weiter hinausgerückt gefunden hat als an emmetropischen.

Wenn die Form des Bulbus die Ausdehnung des Gesichtsfeldes beeinflusst, so wird letzteres naturgemäß um so mehr von der Norm abweichen, je höher der Grad der Ametropie ist — als Ursache dieser immer wieder eine Abweichung von der normalen Achsenlänge vorausgesetzt.

Gesichtsfeldmessungen haben dies für das hyeropische (Pietsch l. c.) und im großen und ganzen auch für das myopische Auge bestätigt. Dabei giebt es jedoch Ausnahmen: die Einengung der Gesichtsfeldgrenzen entspricht nicht immer dem Grade der Kurzsichtigkeit. Selbst bei den höchsten Myopiegraden wird die Gesichtsfeldgröße, entgegen der Behauptung Ole Bull's (165), bisweilen normal gefunden. Andererseits ist hier eine Reihe von Schädlichkeiten zu beachten, wie Cirkulationsstörungen, Dehnungserscheinungen und Veränderungen entzündlicher Natur in den vordersten Abschnitten der Aderhaut und Netzhaut, deren Einfluss sich nicht genau abschätzen lässt.

Die Augen verschiedenen Brechzustandes weisen ferner, wie u. a. v. Reuss (72) dargethan hat, einen deutlichen Unterschied in der Tiefe der vorderen Kammer auf; endlich soll nach den Untersuchungen Silberkuhl's (l. c.) die Pupillenweite, wenigstens im mittleren Lebensalter, je nach der

Refraktion des Auges eine andere sein. Vielleicht wird auch durch diese Momente die Gesichtsfeldgröße der Ametropen beeinflusst.

5. Die Ausdehnung des sensiblen Netzhautbezirks. Uschakoff (l. c.) und Donders (70) wiesen nach, dass sich die Retina auf der nasalen Seite weiter nach vorn erstreckt als auf der temporalen. Donders giebt den Unterschied, von der Fovea centralis aus gerechnet, auf 2 mm an. Demgemäß müsste die Ausdehnung der temporalen Gesichtsfeldhälfte die der medialen um 12 bis 13° überwiegen.

Bei der üblichen Untersuchungsmethode ist diese Differenz jedoch erheblich größer (s. u.). Donders glaubte nach seinen Beobachtungen eine gänzliche Funktionsunfähigkeit der vordersten Partien der äußeren Netzhauthälfte annehmen zu müssen. Schweigger (66, 81) hat jedoch gezeigt und Butz (l. c.) dies bestätigt, dass unter geeigneten Bedingungen die temporale Grenze der Lichtempfindlichkeit erheblich erweitert werden kann, so dass nunmehr das Gesichtsfeld der Netzhautausbreitung entspricht. Die Retina ist also in der äußersten Zone ihrer Schläfenhälfte nicht amaurotisch, sondern nur stark amblyopisch.

§ 146. Die Wirkung des Strychnins im Sinne einer Gesichtsfelderweiterung wurde zuerst von Nagel (39) bei einer Reihe von Augenerkrankungen festgestellt. v. Hippel (47) kam für das gesunde Auge zu demselben Ergebnis. Nach den Untersuchungen Cohn's (45) wird die Empfindlichkeit der Netzhaut für Blau und Rot hinausgerückt. Peters (49) endlich hat, wie v. Hippel, am eigenen Auge die Wirkung des Alkaloids studiert, und fand unter seinem Einfluss eine Erweiterung der Weißgrenzen um 3 bis 5° im Durchschnitt, derjenigen für Blau und Rot um 6 bis 12° bezw. 12 bis 15°.

Nach der Einverleibung von Brucin sah Singer (199) die Gesichtsfeldgrenzen für den Licht-, Farben- und Formsinn wachsen. Die Ermüdungseinschränkung (s. § 171) fiel fort.

Die Frage nach der Bedeutung des elektrischen Stromes in gleichem Sinne ist noch wenig geklärt. Für die einzelnen Stromesarten sowohl wie für den Modus der Applikation wird der Einfluss auf die Gesichtsfeldgröße so ungleichartig angegeben, dass, da sich auch die Annahme einer individuell verschiedenen Reaktion (Engelskjön) nicht wohl halten lässt, die Mitwirkung anderer, zum Teil gewiss psychischer, Momente anzunehmen ist.

Methoden der Gesichtsfeldmessung.

§ 147. Handelt es sich nur darum, rasch ein vorläufiges Urteil über die Ausdehnung des Gesichtsfeldes zu gewinnen, ohne genauere Bestimmung seiner Grenzen, so verfährt man folgendermaßen: Man stellt sich dem Patienten, der den Rücken dem Fenster zukehrt, gegenüber und lässt ihn,

während er ein Auge verdeckt, mit dem anderen das demselben gegenüberliegende, also ungleichnamige Auge des Untersuchers, fixieren. Dann bewegt man die ausgestreckte Hand oder ein Stück weißen Papiers von oben, unten, rechts und links her aus der Peripherie gegen die Fixierlinie, bis der Patient das Objekt wahrnimmt. Der Beobachter kann dabei zugleich kontrollieren, ob jener ruhig fixiert und dessen Gesichtsfeldgröße mit der des eigenen Auges vergleichen.

Diese primitive Art der Untersuchung findet ihre Verwendung da, wo das Sehvermögen ein Erkennen von Formen nicht mehr gestattet, oder wo es sich um rasche Bestätigung eines vermuteten großen Gesichtsfelddefektes, wie z. B. bei Netzhautablösung, bei Hemianopsie u. s. w., handelt. Ist die Funktion auf die Unterscheidung von Helligkeitsdifferenzen reduziert, so tritt die sogenannte »Projektionsprüfung« in Anwendung: in dem im übrigen dunklen Raum wird der Gesichtslinie des geradeaus gerichteten Auges, dessen Fixation eventuell durch eine kleine Lichtquelle gesichert ist, von der Peripherie her eine zweite Lichtquelle genähert, etwa eine Kerzenflamme oder das mittelst des Augenspiegels reflektierte Licht der Untersuchungslampe. Diese selbst muss gegenüber dem Patienten abgeblendet sein. Wechselt man die Richtung, aus der die Lichtquelle herangeführt wird, so ist diese währenddessen mit der Hand zu verdecken, bezw. durch Drehen des Spiegels zum Verschwinden zu bringen, damit der Patient nicht weiß, von welcher Seite her er das Licht zu erwarten hat. Zu empfehlen ist, durch Höher- oder Niedrigerschrauben der Lampe diese Prüfung mit verschiedenen Lichtstärken vorzunehmen.

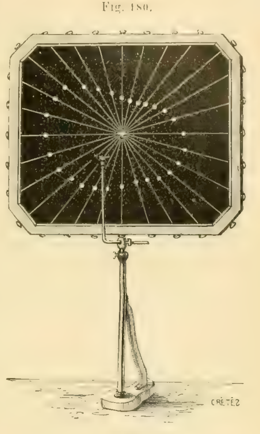
§ 148. Für eine exaktere Gesichtsfeldmessung ist die einfachste, auch schon von v. Graefe l. c.) angewandte Methode die, dass man auf einer senkrecht stehenden Tafel einen Punkt in Augenhöhe fixieren lässt und nun von diesem aus ein Objekt — ein Stück Kreide etwa oder einen Elfenbeinknopf an schwarzem Stabe — nacheinander in verschiedenen Meridianen zur Peripherie hinführt, bis es nicht mehr gesehen wird, oder es centripetal heranbewegt, bis es eben zur Wahrnehmung gelangt. Die Punkte des Verschwindens bezw. Erscheinens werden auf der Tafel markiert; ihre Verbindungslinie giebt dann die Grenzen des Gesichtsfeldes wieder.

v. Graefe bediente sich auch einer auf einen Bogen Papier aufgezeichneten Strahlenfigur; die einzelnen von dem Fixierpunkte ausgehenden Geraden bestanden aus Punktreihen. Der zu Untersuchende musste die äußersten Punkte angeben, die er noch differenzieren konnte. Dies Verfahren stellt also zugleich schon eine Sehschärfeprüfung der äußersten Netzhautzone dar.

Solche zur Gesichtsfeldbestimmung eingerichtete Tafeln wurden Kampimeter genannt.

Ein etwas komplizierterer Apparat ähnlicher Art ist das Kampimeter von DE WECKER (23). In der Mitte einer vertikal gestellten, etwa 1 m² großen, mit schwarzem Tuch überzogenen Tafel ist ein kleines weißes Kreuz als Fixationsobjekt angebracht. Von ihm strahlen nach allen Seiten geschwärzte Metalldrähte aus, auf denen mit Hilfe eines hinter der Tafel befindlichen Mechanismus kleine, zur Hälfte ebenfalls geschwärzte Elfenbeinkugeln gleiten. Man schiebt mittelst des Räderwerks eine solche Kugel vor, bis sie eben gesehen wird, und dreht sie dann um, so dass sie dem Patienten nunmehr ihre schwarze Seite zuwendet und bei dem Fortgang der Untersuchung nicht stört. Nach Beendigung dieser sind auf der anderen Seite der Tafel alle weißen Kugelflächen sichtbar und die Ausdehnung des Gesichtsfeldes kann sofort abgelesen werden. Eine Kinnstütze dient zur Fixation des Kopfes in der erforderlichen Höhenstellung; ihr graduierter, zur Tafel hinlaufender horizontaler Arm zeigt die Entfernung des Auges von dieser an.

Fig. 180.



DE WECKER's Kampimeter.

Das Instrument hat u. a. den Vorzug, dass das periphere Objekt nicht mit der Hand oder an einer Handhabe geführt wird, was stets störend wirkt.

SCHENKL's (54) Gesichtsfeldmesser, gleichfalls zur Demonstration bestimmt, besteht einfach aus einer größeren Zahl von dem Fixierpunkt radienartig ausstrahlender Drähte, die in einem Holzringe stecken und auf denen Kugeln als Probeobjekte verschoben werden.

§ 149. Damit es nicht erst einer besonderen Messung bedarf, um die Entfernung der gefundenen Grenzpunkte vom Fixierzeichen beurteilen zu können, vor allem aber zum Zweck bequemer Reproduktion des Befundes, hat man die schwarze Projektionstafel durch matte schwarze Linien in Quadrate zerlegt oder mit einem System von Fäden überspannt, die Vierecke einschlossen, und diese dann numeriert, auch wohl eine Einteilung in Sektoren hinzugefügt.

Die so erhaltenen linearen Maße lassen sich aber — wenn nur die Entfernung des zu untersuchenden Auges von der Tafel bekannt ist — leicht in die entsprechenden Winkelgrade umrechnen, da sie einfach das Produkt aus diesem Abstand und der Tangente des gesuchten Winkels darstellen. Viele Kampimeter sind denn auch gleich mit einer solchen Einteilung für eine oder mehrere Distanzen, in Gradzahlen ausgedrückt, versehen.

Hilbert (100) erläutert einige Formeln, mit Hilfe derer man aus dem Resultat der kampimetrischen Methode leicht die Winkelwerte erhält und umgekehrt.

Pitou (146) hat zu dieser Übertragung noch eine weitere Methode angegeben, die er im Gegensatz zu der obigen, trigonometrischen, die graphische nennt. Sie besteht darin, dass man vom Fixationspunkte aus auf dem Meridian, der senkrecht zu dem untersuchten steht, die Distanz zwischen Auge und Tafel abträgt, diesen Punkt mit dem gefundenen Grenzpunkt verbindet und nun mittelst eines Quadranten den Winkel misst, den diese Gerade und der zu dem untersuchten vertikale Meridian einschließen. Wegen Kongruenz der entsprechenden Dreiecke muss dieser Winkel gleich sein demjenigen, den die Gesichtslinie und die Verbindungslinie des Grenzpunktes mit dem Knotenpunkt des Auges bilden würde. Es ist zu dieser Bestimmung außer der Tafel nur nötig ein Winkelmesser, ein Stück Kreide und ein Maßband.

Pitou konstruierte auch einen kleinen Apparat, der diese Hilfsmittel in sich vereinigt: ein kurzer Metallstab ist in dem Centrum der Tafel senkrecht zu derselben um seine Achse drehbar befestigt. Er setzt sich mit einem Charnier in eine graduierte Leiste fort, die, in zwei Blätter gespalten, eine zweite Leiste aufnimmt mit einem gleichfalls drehbaren Quadranten an ihrem freien Ende. Der Patient stützt den Schaft des Quadranten mittelst einer Klemme gegen die Nasenwurzel oder hält ihn dicht vor das Auge, etwas oberhalb, unterhalb oder seitlich von dem Centrum der Cornea, je nach dem zu untersuchenden Meridian. Dann bestimmt man auf diesem die Grenze, senkt den Apparat auf den dazu senkrecht stehenden, markiert hier den Punkt, wo der Schaft des Quadranten endigt, und verbindet ihn mit dem Grenzpunkt. Der Quadrant giebt sofort den Winkel an. Zur Messung der gewählten Distanz muss man die Länge des an der Tafel angeschraubten Stückes hinzufügen.

§ 150. Die Umrechnung der linearen Maße in Winkelwerte weist auf einen großen Fehler hin, der der kampimetrischen Methode anhaftet. Die Untersuchung der einzelnen Netzhautabschnitte geschieht dabei nämlich in sehr verschiedenen Entfernungen vom Auge. Es stelle (Fig. 181) *GD* den horizontalen Durchschnitt der Tafel dar, *O* den Fixationspunkt des Auges, 30 cm vom Knotenpunkt entfernt. Vernachlässigen wir die Entfernung des Knotenpunktes von der Retina, so wird die Macula lutea also in einem Abstand von 30 cm untersucht. Einer Stelle *b* der Netzhaut, die 40° seitlich

von dem hinteren Pol gelegen ist, würde auf der Tafel der Punkt B entsprechen, einer solchen d, 80° von der Macula lutea entfernt, der Punkt D. Die Distanz bB beträgt aber 39,2 cm, ist also schon erheblich größer als MO, und dD gar 173 cm. Man prüft demnach diese peripher gelegene Netzhautzone in einer 5—6mal größeren Entfernung als das Centrum.

Fig. 181.

Bei einer Gesichtsfeldaufnahme im Abstand von 30 cm müsste die Tafel außerdem schon eine beträchtliche Ausdehnung haben, selbst wenn das Gesichtsfeld auch nur bis 85° nach außen und 65° nach innen reichen würde. In der obigen Figur wird in diesem Falle $OG = 30 \cdot \text{tang}\ 65° = 64$ cm, und der Punkt, der 85° entspräche, wäre von O 343 cm entfernt. Das würde eine Tafelbreite von mehr als 4 m erfordern (cf. Landolt l. c.).

de Wecker nimmt deshalb die Untersuchung des Gesichtsfeldes auf sehr kurze Distanz, 16 cm, vor. Auf einer Tafel von 90 cm Durchmesser lassen sich so die Tangentenwerte der Winkel bis zu 70° aufzeichnen. Dieser Ausweg bringt aber die Akkommodation zu sehr mit ins Spiel, auch wird eine genaue Untersuchung der paracentralen Netzhaut bei der geringen Größe der entsprechenden linearen Werte schwierig.

Bjerrum (132, 138) hilft sich auf andere Weise: als Projektionsebene dient ihm die ganze Wand eines Zimmers, vor der ein mattschwarzer Vorhang von der Decke bis zum Boden herniederhängt (s. auch § 164).

§ 151. Die Anwendung der transportablen Kampimeter, wie sie Gazepy (107), Mello (116), Gurfinkel (143) u. a. konstruierten, gestaltet sich ganz ähnlich. Die Apparate selbst bestehen nur aus dem Fixationsobjekt, dem peripheren Prüfungsobjekt und einem sie verbindenden Maßstabe; eventuell ist noch eine Kopfstütze beigegeben. Gazepy's Instrument möge ihre Funktion illustrieren: Eine mit Fixationsmarke und Gradeinteilung versehene Scheibe bildet das Ende eines elastischen metallenen Maßbandes. Dies rollt sich in einer Hülse auf, welche mit zwei konzentrisch übereinanderliegenden Scheiben versehen ist. Die untere ist in 5 Sektoren eingeteilt mit den Farben Weiß, Gelb, Blau, Rot und Grün. Die obere bezw. vordere lässt sich drehen und hat verschieden große Öffnungen, durch die ein Teil des Sektors als Probeobjekt sichtbar wird. Zwischen beiden liegt ein Diaphragma mit einer

Öffnung, der Größe eines Sektors entsprechend. Die Fixationsscheibe wird auf einer beliebigen Zimmerwand, deren Färbung übrigens zu berücksichtigen sein wird, befestigt, die Hülse in den verschiedenen Meridianen herangeführt; die entsprechende Entfernung ist an dem Maßbande direkt abzulesen.

Wie groß man aber auch die Kampimeterebene wählen mag, mittelst einer Fläche lässt sich ein normales Gesichtsfeld, das sich auf seiner Außenseite allein bis 90° und darüber erstreckt, überhaupt nicht bestimmen, da $\tan 90^\circ = \infty$. Man hat sich damit zu helfen gesucht, dass man den der Nasenseite des Patienten zugekehrten Rand der Tafel fixieren ließ, so die Gesichtslinie schräg zur Projektionsebene stellend. Das ist schon deshalb unzulässig, weil man, um das Gesichtsfeld in seinen beiden Hälften aufzunehmen, gezwungen wäre, die Fixation während der Untersuchung zu ändern.

Es sei noch eine originelle Art von Kampimetern erwähnt, zu denen das bereits im Jahre 1868 angegebene Instrument Heymann's (25) gehört. Dies besteht aus zwei großen, konzentrisch übereinander drehbaren Scheiben. Die hintere hat einen 1 mm breiten Spalt, der radiär vom Mittelpunkt bis zur Peripherie verläuft; in die vordere ist eine schneckenförmig gewundene Reihe je 1 mm voneinander abstehender punktförmiger Öffnungen gebohrt, so dass nur eine jedesmal über den Spalt zu stehen kommt. Durch weitere Drehung wird immer wieder ein weiter vom Centrum befindlicher Punkt eingestellt. Das Centrum selbst dient zur Fixation. Bei Drehung beider Scheiben lässt sich ein Parallelkreis der Netzhaut ganz durchuntersuchen.

Schröter's (56) Apparat besteht aus drei Scheiben, die untere in verschiedenfarbige Sektoren eingeteilt, die mittlere mit einem sektorförmigen Ausschnitt, in der oberen verschieden große Öffnungen, in Form einer Spirale angeordnet. Die Scheiben sind konzentrisch an einen Perimeterbogen angeschraubt. Die mittlere giebt, wenn sie gedreht wird, jedesmal einen anderen Sektor frei; die obere lässt nacheinander gleichfarbige, aber verschieden excentrische und dabei verschieden große Felder sehen. Der Apparat gestattet, die Farben intermittierend auftauchen und schnell ihren Ort wechseln zu lassen.

§ 152. Ein weiterer Übelstand der kampimetrischen Messung ist der, dass der Untersucher die Fixation des zu prüfenden Auges nicht oder nur sehr unvollkommen zu kontrollieren vermag, denn er steht hinter dem Patienten oder seitlich von ihm. Michel (194) Chefarzt der französischen Marine, hat dies zu vermeiden gesucht, indem er sich zur Gesichtsfeldmessung einer durchsichtigen Glasplatte von 80 cm Höhe und 1 m Breite bedient.

Man stellt sie der dem Fenster gegenüberliegenden Wand parallel und 190 cm von derselben entfernt auf. Ein vertikaler Strich bezeichnet die Linie, in welcher die Wand von einer die Kampimeterplatte halbierenden und zu ihr senkrechten Ebene geschnitten würde. Das zu untersuchende

Auge wird der Platte auf 10 cm genähert und auf der vertikalen Mittellinie derselben die Höhe des Auges mittelst eines kleinen, mit Tinte gezogenen Kreises markiert. Da der Autor nicht die Fossa centralis, sondern, wie Förster (s. u.), die Eintrittsstelle des Sehnerven zum Mittelpunkt der Gesichtsfeldmessung wählt, so verlegt er den Fixierpunkt nicht in die vertikale Linie der Wand, sondern 52 cm seitlich davon, nach links für das rechte, nach rechts für das linke Auge. Diese 52 cm entsprechen für die 2 m Entfernung des Auges von der Wand der Tangente des Winkels ι (Landolt), der im Mittel 15° beträgt.

Um das Auge immer in dieser Entfernung von 10 cm zu erhalten, klemmt der Patient zwischen den oberen bezw. den unteren Orbitalrand und die Glasplatte ein cylindrisches Holzstück von 87 mm Länge. Der Beobachter nimmt seinen Platz dem Patienten gegenüber, an der hinteren Seite der Glasplatte. Er kann auf diese Weise leicht kontrollieren, ob der Untersuchte die Fixation seines Auges beibehält. Die Prüfungsobjekte (kleine, mit verschiedenfarbigem Papier bedeckte Korkscheibchen) werden mittelst eines Stäbchens auf der dem Patienten zugewandten Fläche der Glasscheibe in unregelmäßiger Folge von den verschiedenen Richtungen her allmählich dem Centrum zugeführt und die gefundenen Grenzpunkte auf der Rückseite der Glasplatte mit Tinte markiert.

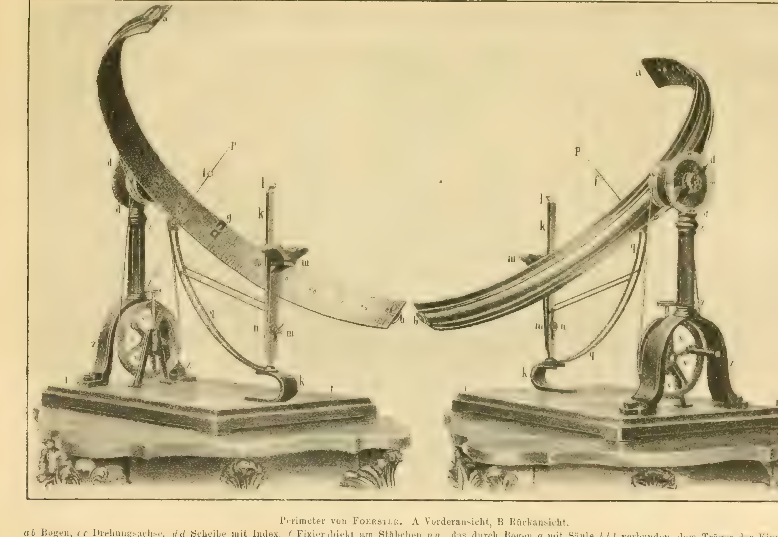
Die durch die Verbindung dieser Punkte erhaltene Grenzlinie kann man leicht auf ein Blatt Papier durchpausen und mittelst eines Maßbandes, dessen Einteilung den Tangenten eines von 5 zu 5° zunehmenden Winkels entspricht, die Zahlenwerte bestimmen. Für das normale Auge hat diese Gesichtsfeldgrenze die Form eines Ellipsoides, dessen größter Durchmesser 75 cm nicht überschreitet.

§ 153. Will man sämtliche Punkte der Retina auf annähernd die gleiche Entfernung untersuchen, so muss das Prüfungsobjekt in der Ebene einer mit der Netzhautsphäre konzentrischen Kugelfläche geführt werden. Nachdem Purkinje (l. c.) bereits diesen Weg im Prinzip eingeschlagen hatte, benutzten Aubert und Förster (14) zu ihren perimetrischen Versuchen einen Gradbogen, der durch Drehung um seinen Scheitelpunkt die gewünschte Hemisphäre darstellte. Förster (27, 158) hat sodann an dem ursprünglichen Apparat Verbesserungen angebracht, welche die Untersuchung erleichtern und eine größere Genauigkeit erzielen lassen. Ihm gebührt das Verdienst, das Instrument, das den Namen Perimeter erhielt, in die Praxis eingeführt zu haben.

Den Hauptbestandteil des Förster'schen Perimeters (Fig. 182) bildet ein 5 cm breiter geschwärzter Halbring, der einen Radius von 30 cm hat und an seiner Innenfläche eine Gradeinteilung trägt. In seinem Scheitel ist er an einer vertikalen Säule befestigt und dort um eine horizontale Achse

Fig. 182.

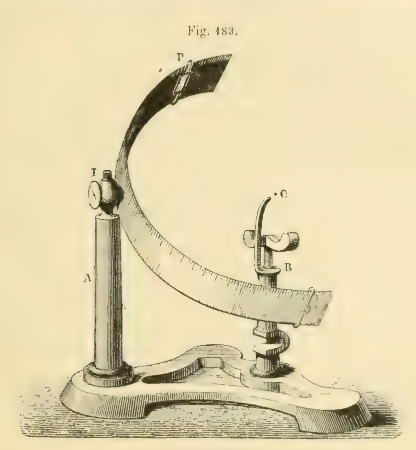
A B



Perimeter von Foerster. A Vorderansicht, B Rückansicht.
ab Bogen, cc Drehungsachse, dd Scheibe mit Index, f Fixierobjekt am Stäbchen pp, das durch Bogen q mit Säule kkl verbunden, dem Träger der Kinnstütze m. g Läufer, iii Kurbelrad.

drehbar. Die Neigung zur Senkrechten, die der Bogen bei seiner jeweiligen Stellung einnimmt, lässt sich mittelst eines Zeigers auf einer ebenfalls graduierten vertikalen Scheibe ablesen, die, hinter dem Scheitel des Bogens befindlich, in jeder Hälfte in 180° eingeteilt ist. Das Probeobjekt wird dargestellt durch ein kleines weißes Viereck inmitten eines schwarzen Metallplättchens. Dies kann als Schlitten auf dem Bogen hin und her gleiten und wird durch einen besonderen Mechanismus bewegt: An der Basis der erwähnten Säule befindet sich ein senkrecht stehendes Rad mit einer Kurbel.

Fig. 183.



LANDOLT's Perimeter.

Die Peripherie des Rades ist rinnenförmig ausgehöhlt; auf dieser Rinne und weiterhin über drei Rollen, von denen eine am Scheitel, die beiden anderen nahe den Enden des Bogens angebracht sind, läuft eine Schnur. Sie endigt an den Seiten des Läufers. Durch Drehen der Kurbel wird das Probeobjekt längs des Metallbogens geführt.

Der Knotenpunkt des zu untersuchenden Auges soll mit dem Centrum des Perimeterhalbkreises zusammenfallen. Um den Kopf des Patienten in der entsprechenden Stellung zu erhalten, erhebt sich vom Fußbrett des Apparates eine kleine Säule mit einer Kinnstütze, die seitlich und in senkrechter Richtung verschoben und durch eine Schraube fixiert werden kann.

Vor der Platte des Kinnhalters ragt als Fortsetzung der Säule ein schmaler elfenbeinerner, an seinem Ende leicht zu dem zu Untersuchenden hin gebogener Stab empor. Seiner oberen Kante soll der Augenhöhlenrand des der Prüfung unterworfenen Auges — das andere ist verbunden — dicht anliegen. Ein vom Fuße der kleinen Säule ausgehender gabelförmiger Metallbügel, als Quadrant gekrümmt, steht an seinem Ende durch ein Charnier mit einem Stäbchen in Verbindung, auf dem eine Elfenbeinkugel verschoben werden kann. Diese giebt das Fixationsobjekt ab.

Förster's Apparat hat im Laufe der Zeit manche Wandlung durchgemacht; die Grundidee ist stets dieselbe geblieben.

Landolt (l. c.) ließ 1872 ein Perimeter konstruieren, das (Fig. 183) gegenüber dem Förster'schen mehrere Vereinfachungen und Verbesserungen aufweist. Der Untersucher steht dem Patienten gegenüber. Er hat also die Außenfläche des Bogens, der Untersuchte die Innenfläche vor sich. Die Einteilung des Bogens befindet sich in Rücksicht darauf auf der Außenseite. So liest der Untersucher wesentlich leichter die Stellung des Prüfungsobjektes ab, während sie dem Patienten verborgen bleibt, was für die Objektivität der Untersuchung nicht ohne Belang sein dürfte.

Außerdem fällt hiermit auch die komplizierte Kurbeleinrichtung des Förster'schen Instrumentes weg. Der Beobachter führt die Untersuchungsobjekte direkt dem Bogen entlang, und zwar entweder mittelst zweier Rahmen (eines für jede Bogenhälfte), in welche sie eingepasst werden, oder mit Hilfe einer Fixierpinzette. Um die Hand des Untersuchers zu verdecken, wurde der Bogen breiter gewählt als der Förster'sche. Es ist überhaupt bei der Gesichtsfeldprüfung sehr wichtig, dass der Patient weder die Hand noch die weißen Manschetten des Untersuchers nahe dem Probeobjekte zu Gesicht bekommt.

Auf der Innenseite des Bogens geht vom Nullpunkt aus eine Einteilung in halbe Winkelgrade lateralwärts bis 20°, nach oben und unten bis 10°. Sie dient zu genaueren Messungen in der Gegend des hinteren Poles. Die Kinnstütze ist um ihre vertikale Achse drehbar; der Kopf des Patienten kann also bei unveränderter Fixation diese Drehung mitmachen, wodurch der störende Einfluss der Nase und eines Teiles des oberen Augenhöhlenrandes eliminiert wird. Endlich hat Landolt den Ort der Fixation in den Scheitel des Bogens verlegt und durch einen weißen Punkt markiert. Sein Fixationsobjekt ist also nicht beweglich, wie dies bei Förster erforderlich war, um die Papille in das Centrum der Untersuchung zu bringen. Landolt erwählt als solches die Fossa centralis, die bei centraler Fixation dem Nullpunkte der Einteilung entspricht.

Förster hat sein Perimeter später dahin modifiziert, dass die Graduierung auf beiden Seiten des Bogens aufgezeichnet ist. Die kleine Elfenbeinkugel zur Fixation wird von einem einfachen, als Quadrant gebogenen Draht

getragen; an ihrer Rückseite befindet sich ein kleiner Spiegel, der zu dem gleichen Zwecke benutzt werden kann. Die Kurbel hat an dem Gipfel der Säule hinter der Meridianplatte ihren Platz gefunden. Der Schlitten besteht aus einer drehbaren Farbenscheibe mit darüberliegendem Diaphragma, dessen Öffnung 1 cm^2 beträgt, durch ein zweites Diaphragma aber leicht auf die Hälfte reduziert werden kann.

An dem Perimeter von Carter (41) ist der Scheitel des Metallbogens durchbohrt; das Auge wird bei der Untersuchung durch die kleine Öffnung hindurch auf ein entfernt liegendes Objekt gerichtet. Die Akkommodation ist auf diese Weise mehr oder weniger ausgeschaltet. Der Apparat besitzt statt des halben Kreisbogens nur einen Quadranten. Dies ist jedoch kein Vorzug; die Handhabung des Instrumentes wird dadurch nur erschwert. Bei jeder Stellung des Bogens kann immer nur eine Meridianhälfte geprüft werden; zur Untersuchung der anderen Hälfte ist wieder eine Drehung um 180° nötig. Besonders störend wird dies bei der Umgrenzung eines centralen Skotoms empfunden.

Auch de Lapersonne (141) begnügt sich mit einem Viertelkreisbogen. Die solide Radscheibe verbirgt die drehende Hand. Der Schlitten läuft längs des Bogens auf kleinen Rollen. Eine verstellbare Blende giebt das Prüfungsobjekt in der gewünschten Ausdehnung frei. Seine jeweilige Farbe ist auch an der hinteren Seite des Schlittens sichtbar.

Maklakoff (109) gab seinem Perimeter zwei Halbkreisbogen: zwei gebogene Leisten, die sich unter einem rechten Winkel kreuzen, wenden ihre schmale Seite dem Patienten zu; ihre freien Enden sind durch einen Drahtreif verbunden. Der Kreuzungspunkt der Leisten stellt den Fixationspunkt dar. Eine einmalige Drehung des Apparates um die horizontale Achse um 45° genügt zur Untersuchung des Auges in vier Meridianen.

Braunschweig (142) hat aus sechs Halbkreisen von Bandeisen, die jedesmal einen Winkel von 30° einschließen, ein korbartiges Instrument dargestellt. Jeder Bandstreifen besitzt einen Schlitz, in dem der Träger des Probeobjektes verschoben wird.

§ 154. Eine Kombination von Tafel und Bogen, von Kampi- und Perimeter, durch Snellen (18) verbessert, wird seit Jahrzehnten in der Utrechter Augenklinik gebraucht. In dem Mittelpunkt einer senkrechten schwarzen Holztafel ist, um seinen Scheitel drehbar, ein flacher metallener Halbkreisbogen befestigt; ihm gegenüber in 35 cm Entfernung erhebt sich eine Stütze für den Infraorbitalrand des zu untersuchenden Auges; sie sendet zugleich einen Arm aus mit einer Stütze für das andere Auge. Hierdurch ist eine ruhige Kopfhaltung ziemlich gesichert. Der ganze Stützapparat lässt sich um seine vertikale Achse drehen; auch sind die kleineren Ansätze für den Orbitalrand drehbar, so dass man die Einrichtung für die Prüfung beider Augen benutzen kann.

Der Bogen erfüllt den Zweck eines Perimeters, auf der Tafel sind die den Winkeln entsprechenden Tangentenwerte eingetragen. Es wird so die Aufzeichnung eines Gesichtsfeldbezirkes von 45° nach jeder Richtung hin ermöglicht.

Auch Ole Bull (l. c.) benutzt eine solche Kombination jedoch mit dem ursprünglichen Aubert'schen (l. c.) Doppelbogen. Dieser ist bis zu 20° nach jeder Seite hin in halbe Grade geteilt, im übrigen in ganze. Ein Zeiger giebt an einem Kreise auf der Tafel die Stellung des Bogens an. Der Umdrehungszapfen des letzteren ist, ebenso wie das Centrum der Tafel, die 130:120 cm misst, durchbohrt. Geschieht die Untersuchung in dunklen Raume, so wird zur Fixation hinter die Tafel eine Lichtquelle gesetzt. Sonst stellt den Fixierpunkt ein weißer runder Fleck von 3 mm Durchmesser dar inmitten eines ebenso breiten weißen Ringes.

§ 155. Als Bahn für die Objektführung hat Pedrazzoli (129) statt des Kreisbogens dessen Sehne gewählt, im Verein mit einer senkrechten Scheibe, deren Centrum, 43 cm vom Auge entfernt, als Fixierpunkt dient. Eine so große Entfernung zu benutzen, ist für manche Zwecke von Vorteil und eben nur möglich durch die Verwendung der Bogensehne. Diese wird dargestellt durch eine graduierte Stange, die vom Fixationspunkt ausgeht und mit der Scheibe einen Winkel von 65°, mit der Gesichtslinie einen solchen von 15° bildet. Auf ihr gleiten mittelst Rolle und Schnur die Probeobjekte.

§ 156. Die schwarze Tafel bei Ole Bull's Perimeter hat vor allem den Zweck, einen gleichmäßig gefärbten Hintergrund zu liefern und die Aufmerksamkeit störende Nebeneindrücke nach Möglichkeit abzuhalten. Die Verwendung eines einfachen Kreisbogens nimmt hierauf ja keine Rücksicht. Ed. Meyer (84) hat, um wenigstens der Gegend um den hinteren Augenpol einen Schutz zu bieten, seinen Perimeterquadranten mit dem centralen Ende in der Mitte einer vertikalen runden Scheibe befestigt.

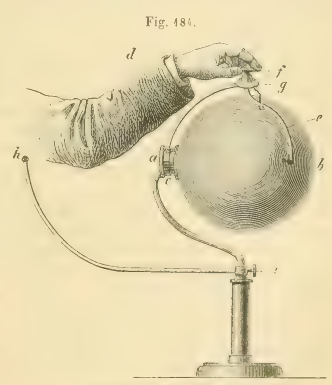
Am besten gelingt die Abwehr störender Nebeneindrücke, wenn man den Perimeterbogen ersetzt durch eine Hohlkugel. Das erste Instrument dieser Art hat Scherk (44) konstruiert: die Halbkugel von 1' Radius hängt mit ihrem Scheitel an einer senkrechten Stange und wendet dem Patienten ihre geschwärzte Konkavität mit einer Meridian- und Parallelkreiseinteilung zu. Um das Innere genügend erleuchten zu können, ist die Kugelschale im vertikalen Meridian halbiert. Beide Teile sind an den Polen durch ein Charnier verbunden; es lässt sich so die Hälfte, die zur Messung nicht gebraucht wird, zurückklappen. Das Prüfungsobjekt führt Scherk an einem Stab auf der Kugelinnenfläche herum. Die Grenzpunkte des Gesichtsfeldes werden durch Kreidestriche markiert. Der Untersucher muss hinter dem Examinanden oder etwas seitlich von ihm stehen.

Mondejar's Perimetro-Registrador vereinigt einen dem vorigen durchaus ähnlichen Apparat mit der Einrichtung, wie wir sie bei de Wecker (s. o.) kennen lernten. Eine metallische Halbkugel von 30 cm Radius ist auf ihrer Rückseite graduiert. Die verschiedenen bezeichneten Meridiane stellen enge Spalten dar, in denen der Untersucher weiße oder farbige Knöpfe gleiten lässt. Hinter dem Apparat steht ein großer schwarzer Schirm, so dass die feinen Spalten sich nicht durch Lichteinfall markieren.

Uhthoff (91) empfiehlt eine Kombination des Förster'schen und Scherk-schen Perimeters in der Form, dass man auf die Vorderseite des Förster-schen Gradbogens ein innen geschwärztes und graduiertes Hohlkugelsegment von gleichem Radius aufsetzt. Das Segment hat eine Winkelöffnung von 50°; die Untersuchung geschieht demnach nach allen Seiten hin bis 25° auf der Kugelfläche, ohne dass die Helligkeit beeinträchtigt wird. Das Resultat kann man auf der mattschwarzen Innenfläche des Segmentes mit Kreide aufzeichnen. Bis zu einem gewissen Grade ist auch die Kontrolle der Fixation möglich.

Pflüger (145) hat auf einer Seite den Rand des halbkugeligen Perimeters um 20° abgeschnitten. Diese verkürzte Partie ist für die nasale Gesichtsfeldhälfte bestimmt. Die Kalotte braucht für die Untersuchung des zweiten Auges nur um 90° gedreht zu werden. Ihre Innenfläche ist in neutralem Grau (s. u.) gehalten.

Fig. 184.



Stilling's Kugelperimeter.

§ 157. Das Bestreben, der ganzen Perimeterfläche eine möglichst gleichmäßige Beleuchtung zu geben, hat Stilling (73) zur Konstruktion seines Kugelperimeters geführt. Es stellt eine nach der Art der Lampenglocken mattgeschliffene Hohlkugel dar mit zwei Öffnungen, die einander diametral gegenüberliegen. In der dem zu Untersuchenden zugekehrten Öffnung *a* ist eine graduierte Metallfassung eingelassen, mit einem drehbaren Ring *c*. Von dem Ring aus greift ein Stahlquadrant *d* über die Hohlkugel hinüber und endigt an deren oberem Pol. Mit ihm ist dort ein

zweiter Quadrant (*e*) beweglich verbunden, der zum Äquator hinabsteigt. Sein freies Ende trägt als Probeobjekt ein Kautschukplättchen, das der Halbkugel dicht anliegt und durch das Glas hindurchschimmert. Ein Zeiger giebt auf einer horizontalen Scheibe (*g*) die jeweilige Stellung des beweglichen Quadranten an. Der Patient bringt das Auge vor die eine Öffnung und blickt durch die andere nach einer kleinen Kugel (*h*), die ein von dem Stativ sich abzweigender Stahldraht hält. Die zweite Öffnung gestattet außerdem, die Fixation zu kontrollieren. Die Beleuchtung ist für alle Teile der Untersuchungsfläche dieselbe; der Gesichtsfeldwinkel, den die Stellung des beweglichen Quadranten angiebt, muss halbiert werden, da der Knotenpunkt des Auges ja nicht im Centrum der Kugel, sondern in ihrem hinteren Pole liegt. Des weiteren ist zu beachten, dass die Probeobjekte für die Untersuchung der peripheren Netzhautzonen dem Auge näher liegen als für diejenige der Makulagegend.

§ 158. Gewisse Vorzüge bietet, wie unten noch erläutert werden soll, die Untersuchung des Gesichtsfeldes im Dunkeln. Abgesehen von den schon geschilderten Vorrichtungen, welche dieselbe auch mittelst der gewöhnlichen Instrumente ermöglichen, hat man besondere Dunkelperimeter konstruiert.

Schweigger's (50) Instrument besteht aus einer innen geschwärzten Hohlkugel, die mit einer Anzahl von Bohrlöchern versehen ist. Diese werden geschlossen bis auf eins, das, von hinten her erleuchtet, als peripheres Objekt dient. Durch Eröffnen eines immer mehr central gelegenen Loches lässt man das Objekt gewissermaßen weiter wandern. Durch Drehung der Halbkugel um die sagittale Achse kann man überdies einen ganzen Parallelkreis der Netzhaut in kürzester Frist durchprüfen.

Schon Purkinje (l. c.) führte zur Gesichtsfelduntersuchung vor dem Auge eine Lichtflamme im Bogen herum. Das Gleiche geschieht heutzutage längs des Perimeterreifes mit kleinen Glühlämpchen. Vorsetzen gefärbter Gläser gestattet auch die periphere Farbenprüfung. Die relativ große Lichtstärke solcher Objekte giebt noch ein leidlich genaues Resultat bei selbst stark herabgesetzter Funktion.

Zur Fixation wird bei der Dunkelperimetrie wohl ein kleines mit Leuchtfarbe bestrichenes Papierblättchen benutzt, das übrigens, um seine Leuchtkraft zu behalten, immer wieder hellem Tageslicht ausgesetzt werden muss. — An dem Wilbrand'schen (180) Perimeter ist darum der Bogen in seinem Scheitel durchbohrt und in der Durchbohrung steckt ein leicht herausnehmbarer Zapfen, auf dessen Vorderfläche — mit der Untersuchungssphäre in gleicher Ebene — das leuchtende Scheibchen aufgeklebt ist.

Wilbrand stellt auch das periphere Objekt in dieser Leuchtfarbe dar. Es erhält so immer die gleiche Helligkeit; soll diese abgestuft werden, so

nimmt man das Sehzeichen verschieden groß. Zumal bei der Prüfung des unterwertigen Auges ist dies, wie WILBRAND gezeigt hat, von großer Bedeutung.

§ 159. SCHWEIGGER (130) hat auch eins der transportablen Perimeter angegeben, die durch leichten Bau und Einfachheit ihrer Konstruktion sich auszeichnen. Sie sind dazu bestimmt, vom Arzt mitgeführt oder dem Patienten bei der Untersuchung in die Hand gegeben zu werden. SCHWEIGGER wendet den üblichen Perimeterbogen an, nach der einen Seite bis 90° reichend, auf der anderen aber auf 30° verkürzt. Die Graduierung ist auf der Außenseite angebracht, der Radius beträgt 20 oder gar 15 cm. Die Gesichtslinie soll über den Nullpunkt hinaus auf ein fernliegendes Objekt gerichtet werden. Der Untersucher führt das periphere Probeobjekt, ein Papierquadrat von 5 mm Seite, an einem Stäbchen dem Bogen entlang. An einem Handgriff, von dem eine Stütze für die Nasenwurzel ausgeht, hält der Patient den kleinen Apparat.

Bei dem Instrument von JOCOS (140) bewegt der Kranke selbst mit der freien Hand die Läufer auf dem Bogen. Es ist zum bequemen Transport in zwei Teile zerlegbar.

Das facherartig zusammenklappbare Perimeter GALEZOWSKY's (113) stellt entfaltet eine Hohlkugel dar. Die Objektführung geschieht von der Rückseite her. Das Instrument wird beim Gebrauch auf dem Deckel des Kastens befestigt, der sonst zu seiner Aufbewahrung dient.

Die Hohlkugelform ist recht glücklich verwandt bei dem in jüngster Zeit von ASCHER (189) ersonnenen Handperimeter: Ein Hohlkugelsegment, nach außen bis 90°, nach innen bis 60° reichend, ist aus Celluloid gefertigt, also durchscheinend, und gestattet, das Objekt, ein Papierscheibchen an schwarzem Stäbchen, auf der konvexen Außenseite umherzuführen. Diese trägt eine Graduierung in Meridiane und Parallelkreise und ein Schema der durchschnittlichen Gesichtsfeldgrenzen für Weiß und Farben; auch ist die Lage des blinden Fleckes markiert. Die gefundenen Resultate werden mit einem Kreidestift angemerkt. Die Halbkugel hat einen Radius von 17 cm. Der Fixierpunkt entspricht dem Pole des Kugelsegmentes. An einem Bügel ist der Handgriff befestigt, der sich nach oben in eine Kinnstütze fortsetzt. Die Hohlkugel lässt sich um 90° drehen und kann somit für die Untersuchung beider Augen benutzt werden. Das aufgezeichnete Durchschnittsgesichtsfeld hat also nur bedingte Geltung und bliebe besser weg. Bei der Aufnahme centraler Skotome soll man zur Fixation nicht den Pol der Kugel, den Nullpunkt, wählen, indem hier der Metallbeschlag die Objektführung hindert, sondern den Ort des blinden Fleckes. Jener ist zu diesem Zweck mit vier konzentrischen Kreisen umgeben, deren Centrum den Fixationspunkt darstellt.

Perimeter dieser Art eignen sich sehr zum Gebrauch am Krankenbett, indem, wie schon gesagt, der Patient das leichtgebaute Instrument in der Hand halten kann. Wilbrand (148) hat eine Einrichtung angegeben, die zur Untersuchung in Bettlage auch die Benutzung des Förster'schen Perimeters gestattet. Im wesentlichen besteht sie aus einer Holzplatte, die durch vier Metallschrauben getragen wird und nach Art eines Betttisches auf dem Bettrande aufruht. Auf dieser Holzplatte liegt eine zweite, die das Perimeter trägt; beide Platten sind an der vorderen Kante durch Charniere verbunden. Nach Art eines Lesepultes lässt sich die obere in die Höhe heben und in beliebiger Schräglage erhalten, damit der Patient den Kopf bequem aufstützen kann.

§ 160. Um das Perimeter wohlfeil und so seine Anwendung möglichst allgemein zu machen, hat man sich bestrebt, es thunlichst einfach herzustellen. Von du Bois-Reymond (106) wurde ein Instrument angegeben, das bis auf Achse und Klemmschraube der Tischler liefert. Der Bogen ist aus Fournieren zusammengeleimt, die Graduierung auf der schmalen Seitenfläche dem Patienten unsichtbar angebracht. Die Drehung geschieht mit der Hand, die Objektführung mittelst eines schwarzen Stäbchens. Alle sichtbaren Teile sind geschwärzt. Ein kleiner Zeiger hinter der Tragsäule giebt die Meridianstellung an.

Ozoulay (128) hat gar einen hölzernen Halbreifen an den beiden Enden durch eine Schnur verbunden und lässt den Examinanden die Nasenwurzel einfach gegen die Mitte der Schnur anlegen. Der Bogen wird von einem senkrechten Stabe getragen, der mit einer Klemme an jedem Tisch zu befestigen ist.

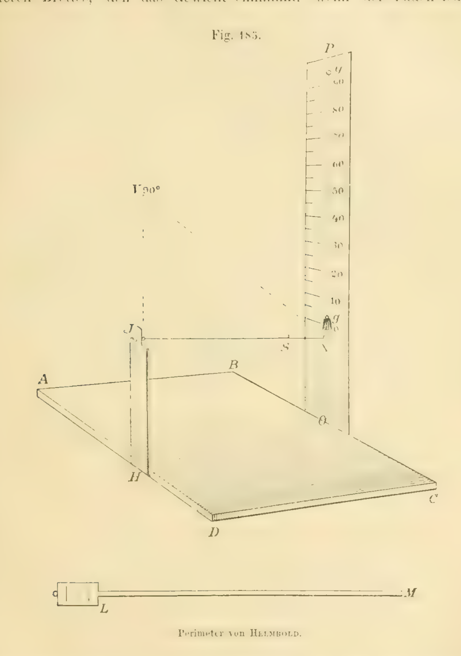
Dyer (112) begnügt sich mit einem spiralförmig gewundenen Draht als Perimeterbogen, auf dem das Probeobjekt läuft.

Andere, sehr einfach gestaltete Instrumente sind bereits oben erwähnt.

Helmbold's (186) sinnreich erdachter Apparat, für den Gebrauch des praktischen Arztes bestimmt, lässt an Einfachheit ebenfalls nichts zu wünschen übrig: ein rechtwinkliges Brett dient als Basis. An seiner vorderen Längsseite erhebt sich vertikal ein schmales Brett (HJ) mit einem mittleren, noch schmaleren Fortsatz, der Kinnstütze. Von dem Centrum dieses Fortsatzes J aus spannt sich horizontal eine Schnur durch eine Öffnung (X) in einem zweiten längeren, ebenfalls senkrecht stehenden Brett OP an der hinteren Längsseite der Fußplatte. Die Schnur verläuft an der Rückseite dieses Brettes in die Höhe, wird durch eine Öffnung (y) nahe der oberen Kante wieder an die Vorderseite geführt und trägt am freien Ende, das fast bis zu der ersten Durchbohrung reicht, ein kleines Gewicht: dies hält die Schnur gespannt. In 30 cm Entfernung von dem vorderen, befestigten Ende des Fadens ist an dessen horizontalem Teil ein kleines Häkchen S angebracht. Hier wird das Probeobjekt (L), eine weiße oder farbige Marke an

einem Stäbchem M), mit einer kleinen Öse eingehakt. Mittelst des Stäbchens lässt es sich in allen Meridianen herumführen. Die Gradeinteilung des Meridians geschieht so, dass man den Punkt an der Vorderfläche des hinteren Brettes, den das Gewicht einnimmt, wenn der Faden lediglich

Fig. 185.



Perimeter von Helmbold.

durch dieses gespannt ist, mit 0 bezeichnet. Nun wird das Objekt eingehakt und bei gespannt erhaltenem Faden in den zu dem ersteren senkrechten Meridianen geführt. Der jetzt dem Gewicht entsprechende Punkt auf dem Brettchen erhält die Zahl 90, da das Objekt ja um den Befestigungspunkt des Fadens um 90° gedreht wurde. Die Strecke von 0 bis 90 wird in 9 gleiche

Teile zerlegt, die eine Wanderung der Prüfungsmarke von je 10° anzeigen. Die Neigung des Meridians, in dem die Untersuchung jedesmal geschieht, bleibt der Schätzung des Arztes überlassen. — Gagzow (192) brachte einige Verbesserungen an. Er lässt den Faden am oberen Ende des längeren Brettchens über eine Rolle laufen und führt ihn auf der Rückseite wieder nach unten. Die Skala erhält dadurch ihren Platz ebenfalls auf der Rückseite des Brettchens und bleibt so dem Patienten unsichtbar. Das mit dem Gewicht armierte Ende des Fadens kann bis auf den Fußboden reichen, das Brett also erheblich verkürzt werden. Eine Führung verhindert das Pendeln der Schnur. — v. Zehender (201) lässt den Faden der leichteren Führung wegen noch über eine Rolle am unteren Ende des graduierten Brettchens gehen; um störende Lichtreflexe zu vermeiden, hat er die Holzteile des Apparates geschwärzt und umgab diesen mit einem schwarzen Vorhang, der an der Nasenseite des Patienten etwas zurückgeschoben wird. Die Skala bleibt auf der vorderen Seite des Brettes. Eine senkrechte schwarze Scheibe mit Winkelteilung gestattet, die Neigung des untersuchten Meridians abzulesen, indem der Leitungsfaden durch die Scheibenmitte gezogen ist. Als peripheres Sehzeichen dienen Kugeln verschiedener Farbe und Größe, die in das Führungsstäbchen eingeschraubt werden und dabei die beiden mit Ösen versehenen Enden der dort durchschnittenen Leitungsschnur fassen. Die Fußplatte ist verstellbar, damit das Gewicht in der Rinne der Skala ruhig gleitet. Endlich giebt v. Zehender noch eine Umrechnung der auf der Skala in Betracht gezogenen Längen der Bogensehnen in die zugehörigen Winkelwerte.

Die Objektführung mittelst des Stäbchens ist ein Nachteil des Instrumentes. Auch stört das Gewicht und die Skala auf der Vorderseite des Brettchens die Aufmerksamkeit des Patienten. Andererseits ist es für den Arzt lästig, die Skala von der Rückseite her ablesen zu müssen. Für feinere Untersuchungen eignet sich deshalb Helmbold's Perimeter nicht.

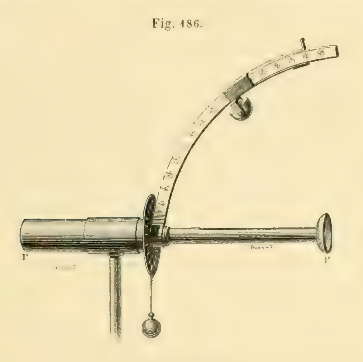
§ 161. Bagot (150) nimmt das Gesichtsfeld auch in einer Sphäre auf, verwendet jedoch statt des Bogens oder der Kugelfläche einen Zirkel aus Metall, der mit seinem Scheitel dicht unter das Auge gehalten wird, so dass der eine Arm die Verlängerung der Gesichtslinie darstellt. Der andere Arm trägt an seinem freien Ende das Probeobjekt, einen um einen Stift drehbaren Würfel, dessen vier Seitenflächen, verschieden gefärbt, dem Auge nacheinander zugekehrt werden können. Von der ersteren Branche geht ein dreieckiger Fortsatz aus, der auf einer Gradscheibe die Meridianstellung des Instrumentes anzeigt. Die Scheibe wird über den Arm bis zu dem erwähnten Fortsatz vorgeschoben und durch ein Gewicht in senkrechter Stellung gehalten. Durch einen Schlitz in ihrer oberen Hälfte fixiert der Patient einen entfernten Punkt. Das freie Ende des Armes passt in eine

Metallröhre hinein, von der der Griff zum Festhalten des Apparates ausgeht. Die Winkelöffnung des Zirkels lässt sich auf einem Gradbogen ablesen.

Der Untersuchung des Gesichtsfeldes dient auch das Diopsimeter von R. Houdin (26). Es besteht aus einem kleinen Holzcylinder mit einem muschelförmigen Ansatz für das Auge. Der Cylinder trägt am anderen Ende eine graduierte Scheibe mit einem Zeiger, der bei Drehung des Instrumentes samt der Scheibe seine vertikale Stellung beibehält.

In der Achse des Cylinders befindet sich ein kleiner Tubus von 2—3 mm Weite zur Sicherung der Fixation eines entfernten Punktes. Die Seitenwand des Cylinders hat einen länglichen Spalt von 6 mm Breite; in ihm ist ein

Fig. 186.



Badal's Perimeter.

mit einer weißen Elfenbeinkugel versehener Arm beweglich, wodurch die Kugel bis nahe an die Fixierlinie gebracht, aber auch um 160° nach rückwärts geführt werden kann. Die Bewegung der Kugel geschieht also stets in dem der Lage des Schlitzes entsprechenden Meridian.

Badal (58) benutzt statt des beweglichen Armes einen Quadranten von 15 cm Radius; im übrigen ist sein Instrument ähnlich dem Houdin's gebaut. Fig. 186 illustriert die Konstruktion beider.

Eng daran schließt sich das Lichtsinnperimeter von Katz (155). Eine halbe Hohlkugel von 4 cm Radius wird mit einem entsprechenden Ausschnitt dem Orbitalrand angelegt. Sie trägt einen Schlitz in der Ausdehnung von 140°, in dem sich eine Hülse mit einer Stange bewegt. Dieser sitzt eine schwarz überzogene Scheibe auf mit quadratischer Öffnung, hinter

der eine zweite Scheibe mit 15 grauen Sektoren von abgestufter Helligkeit drehbar befestigt ist. Das durch den Ausschnitt gesehene Grau stellt das Prüfungsobjekt dar. Mit der Kinnstütze des Apparates ist durch einen gebogenen Stab ein zusammenlegbarer Schirm verbunden, der einen gleichmäßig dunkeln Hintergrund abgiebt und eine kleine Fixiermarke trägt. Um die Helligkeit zu variieren, kann man vor den Schlitz Rauchgläser schieben. Ein Gummiband zieht sich von einem Ende des Schlitzes zur Hülse hinüber. Auf diese Weise bleibt von dem Gesichtsfeld des beobachtenden Auges nur ein Streifen frei, in dem sich auf dem Schirm als Hintergrund das Fixations- und das periphere Objekt abheben. Die Halbkugel ist um die drei Hauptachsen drehbar. Die jeweilige Neigung des Schlitzes zur Senkrechten lässt sich auf einem Halbkreisbogen ablesen. Den Apparat befestigt man mit einer Klammer an dem Tisch.

Eine eigenartige Idee verkörpern die Gesichtsfeldmesser von Reid (122) und von Willets (181). Das periphere Sehzeichen wird hier nicht durch das Gesichtsfeld geführt, sondern von einem fixen Leuchtpunkt dargestellt, den bei dem ersteren Instrument ein drehbares Prisma scheinbar an das Centrum heranrückt, während bei Willets mit Hilfe eines geeignet abgeschrägten kegelförmigen Hexagons aus Flintglas in sechs verschiedenen Meridianen zugleich je ein Netzhautbild der Lichtquelle in demselben Abstande von der Fovea centralis auf der Netzhaut entworfen wird. Zur Variation dieses Abstandes müssen natürlich verschieden abgestufte Hexagone verwandt werden. Die Prüfung kann so immer nur sprungweise in Parallelkreisen erfolgen.

§ 162. Das Bedürfnis, die Aufzeichnung der erhaltenen Gesichtsfeldbefunde weniger schwierig und umständlich zu gestalten, ließ die sogenannten selbstregistrierenden Perimeter entstehen.

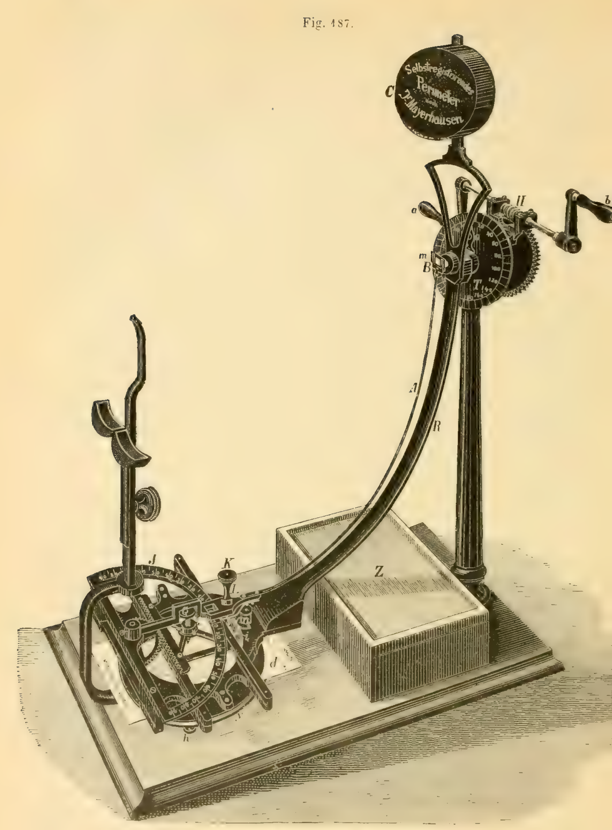
Der älteste Apparat dieser Art wurde im Jahre 1881 von G. F. Stevens (95) angegeben: Eine Stütze trägt einen aufrecht stehenden Messingring, innerhalb desselben dreht sich um eine horizontale Achse ein zweiter Ring. An diesem ist ein Halter angebracht, durch den ein Messingbogen von 30 cm Radius hindurchgeht, mit einer schwarzen Platte am freien Ende. Auf der Platte hält eine Feder das Probeobjekt fest. Der Bogen lässt sich so weit durch den Halter führen, dass das periphere Objekt mit dem Fixierpunkt zusammenfällt, einem hellen Fleck auf schwarzer Scheibe, die dazu dient, den Registrierapparat zu verdecken. An dem inneren Ring ist nämlich außer dem Halter für den Perimeterbogen noch ein Räderwerk angebracht. Der Bogen hat an einer Seite eine Zähnelung; bei seiner Verschiebung greifen die Zähne in das Räderwerk ein. Wird der Bogen in einen anderen Meridian eingestellt, so drehen sich zugleich auch Ring und Räderwerk. Mit letzterem ist ein Stift verbunden, der sich entsprechend dem Sehzeichen, aber in entgegengesetzter Richtung, bewegt und seine jeweilige Stellung auf einem Schema registriert.

Mayerhausen (110, 115) (Fig. 187) ließ mit einer nachträglichen Verbesserung ein Instrument in folgendem Bau herstellen: Ein gebogener Metallarm *E* ist mit seinem oberen Ende an dem Gipfel einer Säule befestigt und dort um eine horizontale Achse drehbar. Das untere Ende trägt in geradem Verlauf den Registrierapparat. Dieser hat die Form einer durchbrochenen Platte; auf seiner vorderen Leiste erhebt sich eine kleine Säule, um die als Achse sich ein zweiter schwächerer Arm (*AB*) dreht, der dicht oberhalb des ersteren diesem parallel läuft und an seinem freien Ende in einer Klemme das viereckige periphere Objekt hält. Der Fixierpunkt entspricht dem vorderen Ende der horizontalen Achse am Gipfel der Stützsäule. Nahe dem Fuße der kleinen Säule, um die gleiche Achse mit dem schwächeren Arm drehbar, ist die Hälfte eines Zahnrades befestigt, das in eine horizontal gestellte Zahnstange eingreift. Diese macht bei der Drehung des schwächeren Armes, und damit des Zahnrades, seitliche Bewegungen, welche jedesmal genau der Größe der auf einem Quadranten (*T*) abzulesenden Bogendrehung entsprechen. Markiert wird letztere durch Druck auf den Knopf (*G*) einer im Centrum des Registrierapparates befindlichen Nadel, die sich in das Perimeterschema eingräbt. Das Schema liegt in einem Rahmen unterhalb der durchbrochenen Platte. Steht der Perimeterarm mit der Registriervorrichtung senkrecht, so ist durch eine einfache Umdrehung des das Objekt tragenden Bogens die Untersuchung des horizontalen Meridians in ganzer Ausdehnung möglich. Will man einen anderen Meridian vornehmen, so dreht man den stärkeren Arm, an dessen oberen Ende ein Gegengewicht angebracht ist. Das Perimeterschema wird durch Drehen seiner Einfassung auf den entsprechenden Meridian eingestellt.

Albertotti's (105) Instrument gleicht äußerlich dem Förster'schen Perimeter. Es ist auf einem besonderen Tischchen befestigt. Die den Bogen tragende Säule wird in ganzer Länge von einer, um ihre Längsachse drehbaren Stange durchbohrt, die oben und unten in ein horizontales Zahnrad endigt. Das obere steht durch Zahnradtrieb mit dem Perimeterbogen in Verbindung; das untere mit einem Cylinder, der, schräg unter der Tischplatte herlaufend, an der linken Seite des Patienten in ein Kurbelrad endigt. Die Drehung des Rades wird also mittelst der Stange in der Tragsäule auf die sagittale Achse des Perimeterbogens übertragen.

Bei Rotation der senkrechten Stange werden weiterhin durch Zahnräder zwei horizontale Drehscheiben bewegt, die auf der Tischplatte nebeneinander liegen und Perimeterschemata für das rechte und das linke Auge tragen. Der Stift, der die Aufzeichnung besorgt, ist an einem Hebel befestigt und wird längs einer graduierten bogenförmigen Zahnschiene, der Stellung des peripheren Objektes entsprechend, eingestellt. Das Auge blickt durch eine Durchbohrung in der sagittalen Drehungsachse des Bogens. Hier kann eventuell ein Korrektionsglas eingesetzt werden.

Fig. 187.



Mayerhausen's selbstregistrierendes Perimeter.

Um die ruhige Fixation zu sichern, sind in dem ziemlich dicken Perimeterhalbring zwei Durchbohrungen angebracht, die nach rechts und links in gleicher Entfernung von dem Scheitel gelegen sind und deren Achsen in ihrer Verlängerung sich in dem Krümmungscentrum des Bogens schneiden würden. Das Auge muss so gestellt sein, dass es ohne Drehung des Kopfes durch das centrale und auch durch beide seitliche Visiere hindurchsehen kann.

Die Kinnstütze ist auf einer nach jeder Richtung verstellbaren Drehscheibe befestigt. Eine Pelotte an einem bogenförmigen Arm kommt als Stütze an die Schläfe zu liegen. Ein zweiter Arm trägt eine kleine Schale zum Verdecken des anderen Auges.

Albertotti führt das periphere Objekt in konzentrischen Kreisen um den Fixierpunkt herum. Das Instrument eignet sich besonders gut zur Selbstuntersuchung. Die linke Hand dreht die Kurbel, die rechte besorgt die Registrierung.

Erwähnt sei noch die Art, wie Albertotti die Gegend der Macula lutea perimetriert: Er stellt den Bleistift auf den äußersten Parallelkreis des Schemas ein, das Prüfungsobjekt auf den Nullpunkt. Bei Umdrehung des Bogens, wobei das Objekt sich also, ohne seinen Ort zu verlassen, um sich selbst dreht, würde der Stift auf dem äußersten Parallelkreis gleiten. Dann wird der Schlitten successive centrifugal, der Bleistift auf einen mehr central gelegenen Parallelkreis verschoben. Das Bild des blinden Fleckes erscheint so fast als Kreis, mit dem größeren Kreise des Schemas nahezu zusammenfallend, die Grenze des Gesichtsfeldes als etwas verzogene Ellipse dicht um das Centrum herum. Kleine central gelegene Skotome werden auf diese Weise in großer Ausdehnung wiedergegeben.

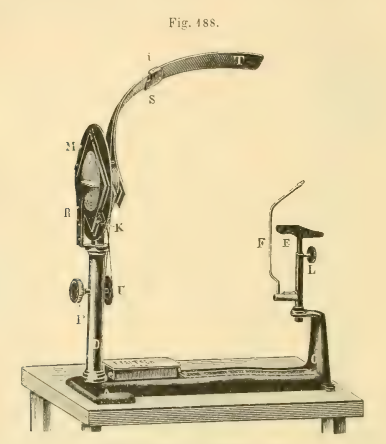
Der Quadrant des Schiötz'schen (117) Perimetermodells ist mit einem Ende an einer Platte befestigt, die einen senkrecht gestellten Ring nach vorn hin abschließt. In dem Ringe sind in Abständen von 15° Löcher ausgeschnitten. Er dreht sich in einem zweiten Ring, der an seinem Scheitel durchbohrt ist. Sobald unter diese Durchbohrung ein Loch des inneren Ringes zu stehen kommt, schnappt ein federnder Zapfen ein, wodurch jedesmal eine Arretierung erfolgt. Der bewegliche Ring wird nach hinten zu durch eine Platte mit einer Trommel an ihrer Rückseite abgeschlossen; auf der Trommel wickelt sich durch Drehen eines Handgriffes eine Metallfeder auf. Das freie Ende dieser Feder ist an dem Objektschlitten befestigt. Einer gewissen Rotation der Trommel entspricht eine bestimmte Objektverschiebung.

Die Bewegung der Trommel wird durch ein Zahnrad auf eine Zahnstange übertragen, von der nach hinten zu ein Stift ausgeht. Dieser trägt ein sternförmiges Rad mit sechs Spitzen; an einer kleinen Stange lässt es sich so drehen, dass eine der Spitzen jedesmal der senkrecht gestellten Platte gegenübersteht, die das Gesichtsfeldschema aufnimmt. Die Platte wird,

um den Ort des peripheren Objektes zu markieren, gegen die Spitze angedrückt. Diese ist mit einem für die einzelnen Farben verschieden ausgestanzten Stempel versehen.

Das Registrierperimeter von Priestley Smith (103) bringt der Optiker F. Fritsch in Wien mit einigen Modifikationen in den Handel. Ein Viertelkreisbogen ist auf der konvexen Seite graduiert und um eine horizontale Achse drehbar, an deren hinterem Ende eine runde Metallplatte (*M*)

Fig. 188.



Registrierperimeter von Priestley Smith.

befestigt ist. Die Drehung des Bogens wird in Abständen von je 15° durch eine Feder aufgehalten. Die Metallplatte (*K*) trägt auf der Rückseite einen Rahmen zur Aufnahme des Schemas. Von der Stützsäule geht rechtwinklig nach hinten und oben ein Arm (*R*) ab mit einer der Einteilung des Schemas in Parallelkreisen entsprechend graduierten Elfenbeinleiste an seinem freien Ende. Wird der Bogen gedreht, so giebt die Richtung der Elfenbeinleiste sofort die betreffende Meridianneigung an. Die Excentrizität des Objektes muss jedoch erst auf dem Perimeterbogen abgelesen werden, lässt sich dann aber mit Hilfe der Graduierung der Leiste leicht auf dem entsprechenden Meridian des Schemas mit einem Stift markieren.

Dies geschieht automatisch bei MACDONALD MC. HARDY's (94) selbstregistrierendem Perimeter, das ebenfalls durch F. FRITSCH einige Veränderungen erfahren. Der gleich dem vorigen Modell aus Hartgummi bestehende Perimeterquadrant (T) ist an seinem centralen Ende mit einem

Fig. 189.



Mc. HARDY's selbstregistrierendes Perimeter.

Gegengewicht (H) versehen, was die Handhabung wesentlich erleichtert. Ein Zeiger giebt auf einer Platte (W) hinter dem Bogen die Stellung dieses an. Mit ihm dreht sich das Registriersystem um dieselbe sagittale Achse. Das Objekt wird mittelst Rolle und Schnur an einem Knopfe

hinter dem Registrierapparat bewegt. Gleichzeitig rotiert dabei ein kleines Zahnrad, das in einen Zahntrieb (*g*) eingreift und so die seitliche Verschiebung eines nach hinten ragenden Stiftes (*e*) besorgt. Der Schematräger (*H*) ist mit dem unteren Ende der Stützsäule (*D*) durch ein Charnier verbunden und wird wieder gegen den mit einem Stempel armierten Stift angedrückt.

Dies Instrument zeigt also sofort Meridian und Parallelkreis der Objektstellung an.

Ein selbstregistrierendes Perimeter, das in seinem Aufbau von den übrigen wesentlich abweicht, hat Magnus Blix (92) angegeben. An die Lehne des Stuhles, auf dem der Patient sitzt, wird eine Hülse angeschraubt, in der eine senkrechte Stahlschiene steckt. Das obere Ende der Schiene trägt außer der Nackenstütze einen rechtwinkligen, um die sagittale Achse drehbaren Arm. Sein horizontaler Schenkel reicht über den Kopf des Patienten nach vorn und endigt in einer Rolle, die von hinten her an einer Handhabe gedreht wird. Eine Schnur ohne Ende läuft über diese Rolle und über zwei weitere Rollen am Scheitel des Winkelarmes und endlich über eine vierte an dem unteren Ende des senkrechten Schenkels. In den Verlauf der Schnur ist eine Hülse mit einem nach hinten ragenden Stift eingeschaltet, gegen den eine federnde Platte angedrückt wird. Die Exkursionen des Stiftes sind ebenso groß wie der Weg, den die Schnur auf der horizontalen Rolle zurücklegt. Vorn setzt sich an die Rolle ein Metallrohr an, in das ein im rechten Winkel nach abwärts gebogener, geschwärzter Metallstab hineinpasst; dessen unteres Ende trägt das Prüfungsobjekt. Bei Drehung der Rolle beschreibt dieses einen Kreisbogen von verschieden großem Radius, je nachdem der Draht mehr oder weniger tief in der Röhre steckt. Der Mittelpunkt dieses Kreises soll der Lage des Knotenpunktes des Auges entsprechen. Daher muss letzteres genau unter dem Drehpunkt der Rolle stehen. Auch soll es in der Höhe der sagittalen Achse des Armes liegen. Eine Drehung dieses führt das Objekt in die verschiedenen Meridiane.

Als Fixationspunkt dient entweder ein Ort im Untersuchungsraume, in der Verlängerung jener sagittalen Drehungsachse, oder das Bild des untersuchten Auges in einem kleinen Planspiegel, der in halber Entfernung des peripheren Objektes von dem vorderen Rande der horizontalen Rolle an einem ebenfalls rechtwinklig gebogenen Arm befestigt ist.

Die im vorstehenden beschriebenen Instrumente mögen als Repräsentanten der verschiedenen Perimetertypen gelten. Die Gesamtzahl der Gesichtsfeldmesser ist überaus groß; manche haben kaum eine Eigentümlichkeit aufzuweisen, die sie originell in der Konstruktion oder besonders praktisch in der Anwendung machte.

Es sei noch einiger Gesichtspunkte Erwähnung gethan, die bei der Perimeteruntersuchung Beachtung verdienen und die in obiger Schilderung zum Teil schon gestreift worden sind.

§ 163. Was zunächst die Frage der Beleuchtung angeht, so sind die meisten Untersuchungsmethoden auf das Tageslicht berechnet. Es ist bekannt, wie großen Schwankungen dies unterworfen ist, an den verschiedenen Tagen sowohl, wie innerhalb ganz kurzer Zeiträume, während weniger Minuten. Allerdings sind diese Schwankungen für das periphere Sehen ebenso wie für das centrale in gewissen Grenzen ohne erkennbaren Einfluss. Starke Herabsetzung der Helligkeit engt jedoch die Gesichtsfeldgrenzen ein. Die allgemeine Beleuchtung des Untersuchungsraumes ist deshalb stets zu berücksichtigen, eventuell bei dem Untersuchungsresultat zu vermerken.

Das verfügbare Tageslicht soll alle Teile des Perimeters möglichst ausgiebig und gleichmäßig treffen. In einem Zimmer mit einem Fenster findet das Instrument daher seinen Platz in einiger Entfernung diesem gegenüber, die Konkavität der Fensteröffnung zugewandt. Freilich beschattet so der zu Untersuchende den Apparat etwas, besonders in den centralen und unteren Partien. Ist der Untersuchungsraum mehrfenstrig, so stelle man das Perimeter zwischen zwei nebeneinander, oder noch besser zwischen zwei rechtwinklig zu einander liegende Fenster.

Besonders bei den undurchsichtigen Perimetern in Halbkugelform wird die Belichtung ungleich, indem die peripheren Teile viel Licht abhalten. Man hat darum, wie schon gesagt, die Kalotte thunlichst zu beschneiden gesucht oder sie zum Zusammenschieben eingerichtet.

Die Methoden der Perimeteruntersuchung bei künstlicher Belichtung sind bislang noch recht unvollkommen. Das Nächstliegende ist, das ganze Untersuchungszimmer zu erhellen. Der Grad der Helligkeit muss wiederum annähernd bestimmt und berücksichtigt werden. Priestley Smith (102) beleuchtet durch den Reflektor einer Gaslampe in dem im übrigen dunkeln Raum die mit weißem Papier beklebte Wand im Rücken des Patienten. Zurückstrahlend erhellt das Licht die Perimeterfläche, wirft aber wieder einen Schatten auf die centralen und unteren Partien. Eine indirekte Beleuchtung mehr von oben her (Mc. Hardy) benachteiligt die untere Gesichtsfeldhälfte verhältnismäßig noch mehr. Es würde zu erwägen sein, ob sich nicht an der Kinnstütze eine Glühlampe mit matter Birne anbringen ließe, die entweder die Ungleichheiten der indirekten Belichtung ausgleicht oder selbst alle Teile des Perimeters gleichmäßig zu erhellen im stande ist. Die Färbung des künstlichen Lichtes macht die Gesichtsfelduntersuchung mit Pigmenten mehr oder weniger unsicher.

Wird das Auge beim Perimetrieren unter wesentlich andere Beleuchtungsbedingungen gebracht, so muss ihm Zeit gelassen werden, sich zu adaptieren. Durch die Adaptation werden die Außengrenzen für Weiß und Farben erheblich beeinflusst, die letzteren erleiden sogar für das nicht adaptierte Auge eine Verschiebung ihrer normalen Reihenfolge (119, 125). Die Voraussetzung ausgiebiger Adaptation — mindestens 15 Minuten — gilt besonders für die Dunkelperimetrie, die sich andererseits von den erwähnten Schwierigkeiten der Beleuchtung frei macht.

§ 164. Es ist sehr erwünscht, dem Prüfungsobjekt eine wechselnde Größe geben zu können. Bei stark herabgesetzter Funktion wird man überhaupt nur mit einem ganz großen Objekt untersuchen dürfen. Für die Bestimmung der Gesichtsfeldgrenzen eines in seiner peripheren Empfindlichkeit wenig geschädigten Auges, zur Aufdeckung und Begrenzung kleiner Skotome, soll man es in der Hand haben, die Marke um das Vielfache zu verkleinern.

Den Einfluss der Größe des peripheren Objektes auf die Gesichtsfeldgrenze unterzog Drott (l. c.) einer näheren Prüfung mit dem Ergebnis, dass, wenn die Seitenlänge der weißen quadratischen Marke auf schwarzem Grunde von 2 auf 20 mm wächst, das Gesichtsfeld sich temporal um $10\,^2/_3{}^{\circ}$ im Durchschnitt, nach den übrigen Hauptrichtungen um 8° erweitert. Hummelsheim (202) hat in Gemeinschaft mit Waldeck (204) bei feinerer Abstufung der Objektgröße und mit Quadraten von 0,5 bis 200 mm Seite einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Gesichtsfeldhälften gefunden: nasal ist bereits mit einem Scheibchen von 15 mm² auf den üblichen Perimeterradius die absolute Grenze erreicht, temporal dehnt sich das Gesichtsfeld kontinuierlich aus mit zunehmender Objektgröße. Bei den in der klinischen Untersuchung üblichen Objekten, zwischen 5 und 20 mm² ist die Größe wohl für die temporale Gesichtsfeldhälfte einschließlich der unteren Hälfte des senkrechten Meridians von Bedeutung, ohne nennenswerten Einfluss erscheint sie nasal und in der oberen Partie des vertikalen Meridians.

Bjerrum (138) konnte, indem er neben der üblichen Untersuchung am Perimeter Aufnahmen unter kleinerem Gesichtswinkel machte (ein Elfenbeinplättchen an dünnem Draht auf 1—2 m vom Auge vor einem mattschwarzen Vorhang her führend), pathologische Veränderungen im Gesichtsfelde aufdecken, die sonst verborgen blieben.

Die Diaphragmascheibe (s. o.) ermöglicht eine bequeme Abstufung der Objektgröße. Ballaban (190) hat nach dem gleichen Prinzip einen kleinen Apparat konstruiert, der an jedem Försterschen Perimeter angebracht werden kann. Die Auswechslung der Farben geschieht durch Zahnstangentrieb

auf der Rückseite des Instrumentes; desgleichen die Herstellung der verschiedenen Objektgrößen.

§ 165. Groenouw (153) führte das Perimetrieren mit ganz kleinen Objekten ein, einem kleinsten schwarzen Punkt auf grauem Grunde oder grauem auf Weiß. Er fand, dass die Größe des »physiologischen Punktes« (Aubert) nur für ein umschränktes Netzhautgebiet die gleiche bleibt, dass sie zur Peripherie hin immer mehr wächst und dass die Umgrenzungen der Zonen mit gleicher »Punktsehschärfe« der Gesichtsfeldaußengrenze fast parallel gehen.

Guillery (172) suchte den physiologischen Punkt für ganz bestimmte Zonen der Netzhaut auf. Er brachte vor das Auge eine schwarze Röhre mit einem lichtdichten Schirm am hinteren Ende. In ca. 1 m Entfernung war ein weißes Täfelchen aufgestellt mit einem schwarzen Punkt. Der Beobachter richtete durch einen seitlichen Schlitz in der Röhre und dem Schirm seinen Blick auf den kleinen mattweißen Fixierpunkt, der auf einem geschwärzten Gradbogen fortbewegt wurde. Schieber gaben den Schlitz nur so weit frei, dass lediglich der Fixierpunkt und das Probeobjekt auf schwarzem Grunde sichtbar waren. Wurden ganz feine Objekte nötig, so nahm Guillery einen 2 mm großen Punkt und betrachtete ihn durch eine Konvexlinse am vorderen Ende der Röhre.

Auch Groenouw's Methode erwies sich gegenüber dem üblichen Untersuchungsmodus als ein feineres Reagens für Störungen des indirekten Sehens.

§ 166. Das Gleiche gilt von der Gesichtsfelduntersuchung mit lichtschwachen Objekten in der gewöhnlichen Größe. Ole Bull (87) stellte sich eine Reihe grauer Scheibchen dar von zunehmender Dunkelheit bis zu einem Grade, bei dem im Durchschnitt die Grenzen enger wurden als die für Weiß. Es war dazu ein Grau von $^1/_8$ der Weißhelligkeit erforderlich. Auch schon mit helleren Objekten der Reihe waren pathologische Gesichtsfeldstörungen erheblich leichter nachzuweisen als mit weißer Marke.

Senn (168) perimetrierte auf einem Grunde von Hegg'schem neutralem Grau (s. auch § 202). Wurde die Helligkeit des Kremserweiß mit 1, die des Neutralgrau mit $^1/_{16}$ bezeichnet, so erhielt er noch bei einem Objekt von der Intensität $^{12}/_{16}$ ein den Weißgrenzen gleiches Gesichtsfeld, bei $^{13}/_{16}$ wurde es enger. Hegg nannte jenes das »physiologische Grenzgrau«. Wenn die Untersuchung mit solchem Objekt normale Ausdehnung ergiebt, so ist eine periphere Störung auszuschließen. Im Zweifelsfalle entscheidet der Vergleich mit der Weißgrenze, die nicht über 2—3°

weiter hinausragen darf, ohne dass eine Funktionsverminderung anzunehmen ist. Holden (160) empfiehlt, die Untersuchung mit lichtschwachem und mit punktförmigem Objekte nacheinander anzuwenden, da sie sich gegenseitig kontrollieren. Bei der Verwendung peripherer Sehzeichen, die an der Grenze der Wahrnehmbarkeit stehen, ist die allgemeine Helligkeit von besonderer Bedeutung (Treitel 125).

Soll das Grenzgrau in der klinischen Perimetrie weitere Verbreitung finden, so muss seine Konstanz, d. h. ein bestimmtes Schwarz-Weißverhältnis gewährleistet sein. Wie Baas (l. c.) mit Recht betont, wäre für den einzelnen Beobachter die Kontrolle darüber, ob sein Grau unverändert geblieben, recht umständlich. Die Herstellung des gleichen Grau für alle Untersucher wird sich aber doch wohl ermöglichen lassen.

§ 167. Wenn man bei herabgesetzter allgemeiner Helligkeit perimetriert, sei es durch Verdunkelung des Untersuchungsraumes (78, 119, 124, 136) oder Vorsetzen grauer Gläser (79, 155), so ist zunächst zu bedenken, dass das Helligkeitsverhältnis zwischen Objekt und Grund sich erst zu ändern beginnt, wenn der letztere so dunkel geworden ist, dass er kein Licht mehr reflektiert; so tritt auch, analog den obigen Befunden, erst bei beträchtlicher Beleuchtungsverminderung eine Verengerung der Grenzen ein. Weiterhin kommt die Adaptationsfähigkeit des Auges erheblich ins Spiel, und eine Verminderung dieser ist es vor allem, die sich in dem Untersuchungsresultat äußert.

§ 168. Recht schwierig gestaltet sich die Darstellung der farbigen Objekte (s. u.).

Für den klinischen Gebrauch kommen noch immer entweder Stückchen sogenannten Heidelberger Blumenpapiers oder farbiger Marx'scher Tuche zur Verwendung von schätzungsweise der gleichen Lichtstärke.

Bei längerem Gebrauch blassen die Farben etwas ab und die Papier- oder Tuchstückchen schmutzen und verlieren an Helligkeit, zumal wenn, bei nicht einwandfreier Konstruktion des Objektträgers, das Diaphragma auf der Farbenscheibe schleift. Beides fordert zum Ersatz der Objekte auf.

§ 169. Die Halbkugelperimeter haben den großen Vorzug, störende Nebeneindrücke von den übrigen Gegenständen im Untersuchungsraum und seinen Wänden her abzuhalten. In erster Linie muss selbstredend die Innenfläche des Kugelabschnittes oder, im anderen Falle, des Bogens frei sein von Reflexen. Sie ist darum mattschwarz, bezw. in einem glanzlosen Grau zu halten.

Giebt die Zimmerwand, die dem Patienten, wenn er am Perimeterbogen sitzt, gegenüberliegt, nicht einen im ganzen gleichmäßigen Hintergrund ab,

so empfiehlt sich die Anwendung der Uhthoff'schen Scheibe (s. o.), die wenigstens die centralen Netzhautpartien vor störenden Nebeneindrücken schützt.

Ole Bull (l. c.) untersucht in einem Raume, dessen Wände, Decke, Boden und Möbel schwarz sind. Überdies ist, wie wir sahen, sein Perimeterbogen auf einer über 1,5 m^2 großen schwarzen Tafel befestigt.

Wilbrand's (l. c.) Perimeter steht dem Fenster gegenüber in einer kleinen, schwarz gestrichenen, vorn offenen Holzbude. Die Tischplatte ist geschwärzt, der Untersucher trägt einen langen schwarzen Rock und mattschwarze Handschuhe.

§ 170. Um eine ruhige Fixation zu sichern, darf man die Marke nicht zu groß wählen. Das Auge schweift sonst über dieselbe hin und her; auch könnte leicht ihre zu große Helligkeit durch Erregung des Netzhautcentrums die periphere Empfindlichkeit beeinflussen. Ein zu kleiner Fixierpunkt macht auf der anderen Seite eine sehr genaue Einstellung nötig, ermüdet das Auge und verschwindet dann zeitweise gänzlich. Eine Ermüdung tritt um so eher ein, je kleiner der Perimeterradius ist, je stärker also die Akkommodation angespannt wird, wenn eben der Fixierpunkt in der Ebene der Perimeterkrümmung liegt.

Ole Bull (l. c.) beginnt jede Gesichtsfeldaufnahme damit, die Lage des blinden Flecks und seiner Grenzen im senkrechten und horizontalen Meridian zu bestimmen. Dem Patienten soll auf diese Weise die Wahrnehmung anderer etwa im Gesichtsfelde vorhandener kleiner Skotome erleichtert werden und der Untersucher sich vergewissern, ob das Auge seine Fixation unverrückt beibehält.

Es ist nötig, dass der Untersucher eine stete Kontrolle über die Fixation ausüben kann, die selbst, wenn betreffs Fixiermarke, Sehschärfe u. s. w. alle Vorbedingungen erfüllt sind, manchem Patienten nicht leicht fällt. Man muss es als einen großen Nachteil der Halbkugelperimeter betrachten, dass sie diese Aufsicht mehr oder weniger unmöglich machen. Um die Fixation bei der Perimeterprüfung zu erleichtern, empfiehlt Schlösser (209), diese binokular vorzunehmen. Hirschberger hat dies Verfahren bereits früher (Binokulares Gesichtsfeld Schielender, Münchener med. Wochenschrift, 1890, No. 10) zur Untersuchung des binokularen Sehaktes Schielender angewandt. Das nicht untersuchte Auge wird mit einem dem peripheren Objekt komplementär gefärbten Glas bewaffnet, so dass ihm jenes farblos erscheint. Auf diese Weise kann also nur der Farbensinn der Peripherie geprüft werden, nicht die Empfindlichkeit für Weiß. Letzteres muss monokular geschehen. Den Hauptvorzug seiner Methode sieht Schlösser darin, dass sie es ermöglicht, central gelegene Gesichtsfelddefekte genau zu umgrenzen oder überhaupt erst aufzudecken, deren Feststellung monokular wegen der mangelhaften Fixation nicht angeht. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass die Lage des Skotoms nur dann richtig wiedergegeben wird, wenn binokular genau central gesehen

wird. Ist dies nicht der Fall, so weicht das central minderwertige Auge — also dasjenige, dem die Untersuchung gilt — ab, und die Aufzeichnung des Befundes entspricht nicht den thatsächlichen Verhältnissen am Sehorgan. Schon bei normalen Augen mit nicht ganz sicherer centraler Fixation sieht man das Bild der Fixiermarke leicht in ein weißes und ein farbiges zerfallen. Von diesen Bedenken abgesehen, bedeutet das Verfahren Schlösser's sicherlich eine Bereicherung der perimetrischen Untersuchungsmethoden.

§ 171. Weiterhin ist die Art der Objektführung wichtig. Geschieht diese centrifugal, so erhält man in der Regel etwas weitere Grenzen, als wenn das Objekt dem Fixierpunkte zustrebt. Eine gewisse Zeit vergeht eben, bis der Reiz, den die aus der Peripherie anrückende Marke setzt, dem Beobachter zum Bewusstsein kommt, während jener bei der Bewegung im umgekehrten Sinne bis zur äußersten Grenze der Wahrnehmungssphäre festgehalten wird.

In einzelnen Fällen ist jedoch ein umgekehrtes Verhältnis konstatiert worden: weitere Grenzen bei centripetaler, engere bei centrifugaler Objektbewegung. Führt man unter diesen Umständen nach dem Vorgange von Förster (64) die Marke einmal von der temporalen Seite in das Gesichtsfeld hinein und durch den ganzen Meridian hindurch an der nasalen Seite wieder heraus und wiederholt gleich darauf die Untersuchung in umgekehrter Richtung und notiert jedesmal den Punkt des Erscheinens und des Verschwindens, so erhält man zwei Figuren, die sich schneiden. Das Gesichtsfeld reicht in dem einen Falle temporal, in dem anderen nasal weiter. Das Gleiche lässt sich, wie Simon (162) gezeigt, noch bequemer erzielen, wenn man das Objekt etwa von der temporalen Seite her durch einen Meridian hindurchführt und dann nach kurzer Pause denselben Meridian von der Nasenseite vornimmt.

Wilbrand (l. c.) kehrt, nachdem er die Marke temporal eingeführt hat, sofort dort um, wo sie an der nasalen Seite verschwindet, geht temporalwärts bis zum Ort des Verschwindens, kehrt wieder um u. s. f. Auf diese Weise engen sich die Gesichtsfeldgrenzen dann mehr und mehr ein. Untersucht man eine größere Zahl von Meridianen nacheinander, das Objekt stets centripetal bewegend, so kommt eine Schneckenform der Grenzfigur heraus (Schlösser).

Entgegen der Annahme, dass diese Erscheinungen als pathologisch, ja für gewisse traumatische Läsionen des Centralnervensystems als pathognomonisch anzusehen seien, kommen sie, wie die ausgedehnten Untersuchungen von Schmidt-Rimpler (146), Peters (161), Simon (l. c.), Siemsen (169) u. a. ergaben, nicht selten auch bei durchaus gesunden Individuen vor. Ferner stellen sie Begleiterscheinungen geistiger und körperlicher Ermüdung dar.

Die Objektbewegung soll möglichst gleichförmig und mit mäßiger Geschwindigkeit geschehen. Zu langsames Weitergleiten ermüdet, bei zu schneller Führung entgeht der Ein- oder Austritt der Marke an der Grenze leicht der Aufmerksamkeit. Ruckweise Bewegung giebt natürlich unsichere Resultate.

Manche Untersucher (Landolt, Hegg u. a.) pflegen, wenn es sich um Feststellung der Gesichtsfeldgrenzen handelt, das Objekt in auf dem zu prüfenden Meridian senkrechten oscillierenden Bewegungen dem Fixierpunkt zu nähern. Hierbei findet man wohl etwas weitere Grenzen. Die Netzhaut wird auf diese Weise ausgiebiger gereizt und es tritt die relativ große Empfindlichkeit der Peripherie für Bewegungsvorgänge mit in Rechnung.

Wichtig ist, dass der Patient nicht wisse, von welcher Seite und in welcher Färbung er das periphere Prüfungszeichen zu erwarten hat. Man soll daher weder die Untersuchung der einzelnen Meridiane, noch auch diejenige mit verschiedenen Farbentönen in bestimmter Reihenfolge vornehmen. Es laufen sonst leicht beabsichtigte oder Selbsttäuschungen unter.

§ 172. Endlich ist bei der Beurteilung der erhaltenen Resultate zu berücksichtigen, dass, wie schon angedeutet, psychische Momente einen nicht unwesentlichen Einfluss auf den Gesichtsfeldbefund ausüben können.

Die graphische Darstellung des Gesichtsfeldes.

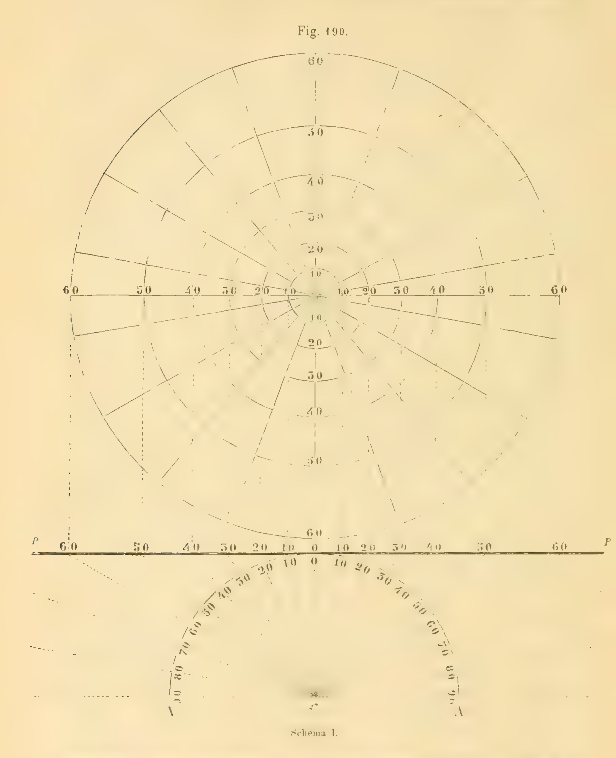
§ 173. Zur Wiedergabe der Resultate der Gesichtsfelduntersuchung genügt bei der kampimetrischen Messung einfach eine verkleinerte Übertragung des auf der Kampimeterfläche aufgezeichneten Befundes. Man hat letztere zu diesem Zwecke in der bereits geschilderten Weise in Vierecke zerlegt (Joy Jeffries) und dann die Gesichtsfeldfigur in ein ebenso eingeteiltes, um das Vielfache verkleinertes Schema eingezeichnet.

Geschah die Aufnahme mit dem Perimeter, so handelt es sich darum, die Kugelfläche auf die Ebene des Papiers zu projizieren.

§ 174. Dies kann in verschiedener Weise geschehen: Zunächst als Projektion mit Hilfe der Tangenten, auch centrale Projektion genannt. Man denke sich an den Scheitel der Kugelfläche, die der Perimeterbogen umschreibt, eine Tangentialebene gelegt und die vom Centrum des Bogens ausgehenden Radien verlängert, bis sie jene schneiden. Alsdann erhält man auf der Ebene eine Figur, in der die Meridiane der Kugelfläche als gerade Linien erscheinen, die sich in dem Berührungspunkte der Tangentialfläche mit dem Scheitel des Perimeters schneiden, während die Parallelkreise konzentrische, immer weiter voneinander abstehende Kreise bilden.

Sei (Fig. 190) AOA der Querschnitt der Perimetersphäre, PP derjenige der sie berührenden Ebene, so giebt das darüber befindliche Schema die

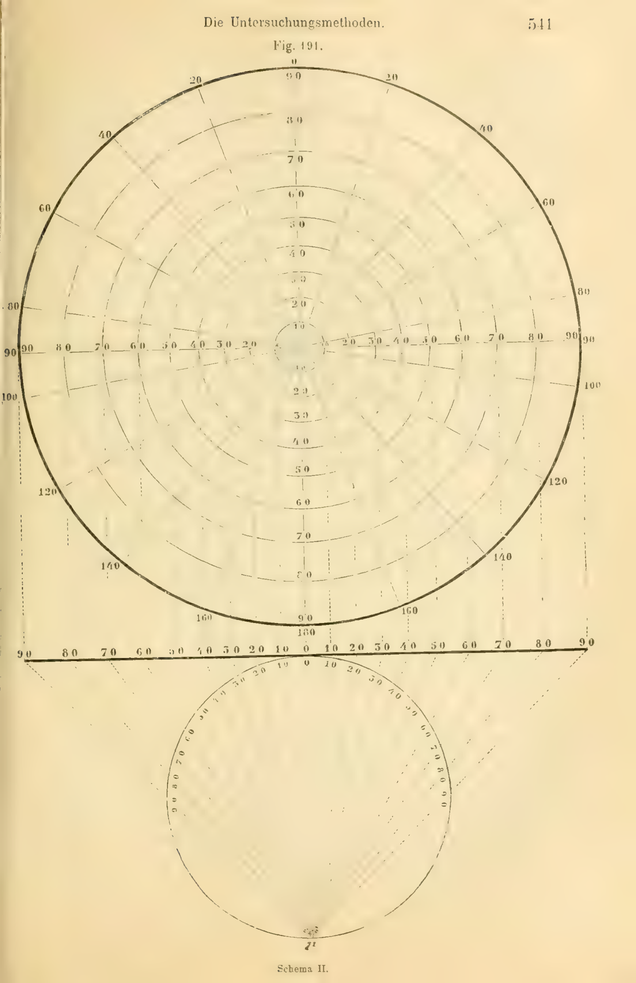
Fig. 190.



Schema I.

tangentiale Projektion wieder. Die Radien desselben entsprechen den Meridianen der Perimetersphäre mit Zwischenräumen von je 20°. Die Meridiane

Fig. 191.



Schema II.

werden durchschnitten von Parallelkreisen, die den Tangenten von 10 zu 10° gleichkommen.

Diese Methode der graphischen Darstellung des Gesichtsfeldes leidet an demselben Fehler wie die Gesichtsfeldmessung mit dem Kampimeter: die Tangentenwerte wachsen vom Centrum nach der Peripherie hin sehr rasch und werden mit 90° unendlich groß. Ein Gesichtsfeld, das bis 90° reicht, kann deshalb auf diese Weise überhaupt nicht aufgezeichnet werden. Ein Blick auf Schema I lässt diese Übelstände sofort erkennen. Obschon der Bogen AOA sehr klein gewählt ist, müsste das Schema für die Wiedergabe der Tangenten entsprechend 70 oder 80° eine recht beträchtliche Größe haben: man braucht sich dazu nur die betreffenden Meridiane bis zum Durchschnitt mit der Tangentialebene verlängert zu denken. Die Methode lässt sich also nur für Gesichtsfelder verwerten, die 60° nicht überschreiten.

§ 175. Es ist leicht einzusehen, dass man sich, um die Hemisphäre bis zum 90. Grade auf eine Ebene projizieren zu können, über das Centrum hinaus von derselben entfernen muss. Lässt man die Projektionslinien von dem dem Berührungspunkte der Tangentialebene entgegengesetzten Pole ausgehen, so erhält man das in Fig. 191 dargestellte Schema II.

Dasselbe giebt die ganze Hemisphäre bis auf 90° wieder und die relativen Abstände der Parallelkreise differieren hier erheblich weniger als in Schema I.

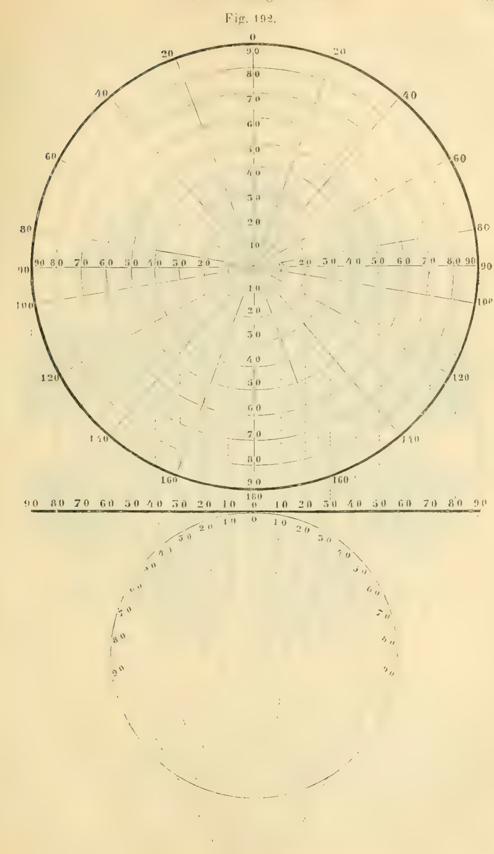
In der Geographie ist diese Art der Projektion unter dem Namen der »**polaren**« bekannt.

Je weiter also der Ausgangspunkt für die Projektion von der Projektionsebene entfernt ist, um so kleiner werden die den Parallelkreisen entsprechenden Abschnitte der Meridiane, und zwar besonders auf Kosten der peripher gelegenen. So ist beispielsweise der Abstand zwischen dem 50. und 60. Grade in Schema I fast doppelt so groß als der zwischen 0° und 10°; in Schema II differieren beide Entfernungen nur sehr wenig. Die Distanz zwischen 80 und 90° ist in dem ersteren Schema $= \infty$, in dem letzteren nur wenig größer als diejenige von 0 bis 10°.

§ 176. Man könnte hoffen, dass, wenn man sich noch weiter von der Projektionsebene entfernte, schließlich ein Punkt erreicht würde, von dem aus gleichen Meridianabschnitten auch unter sich gleich weit entfernte Parallelkreise auf der Projektionsebene entsprechen. Dies ist jedoch nicht mit mathematischer Genauigkeit der Fall[1]. Annähernd trifft es zu, wenn man die Projektion von einem Punkte ausgehen lässt, der um des 1,7 fache

[1] Den mathematischen Beweis s. Landolt in de Wecker et Landolt. Traité complet d'Opht. Paris 1878. I. S. 60?.

Fig. 192.

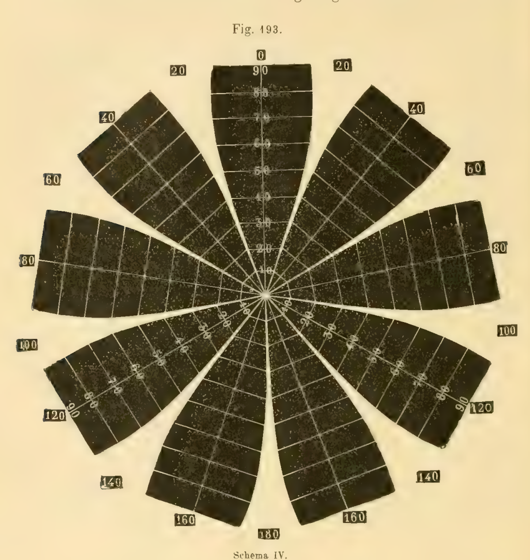


Schema III.

des Perimeterradius von dem Krümmungscentrum entfernt ist (Landolt). Auf diese Weise ist Schema III erhalten worden. Man bezeichnet es mit dem Namen der äquidistanten polaren Projektion.

Förster hat dieselbe zur Aufzeichnung des Gesichtsfeldes gewählt und sie hat sich mit Recht beinahe überall eingebürgert.

Fig. 193.



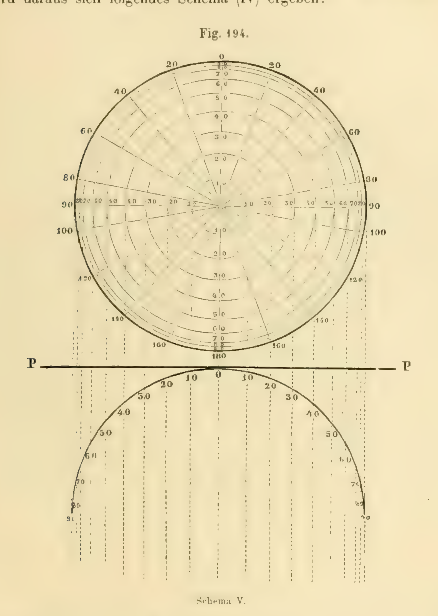
Schema IV.

Ganz genau stimmt die Förster'sche Aufzeichnung jedoch auch nicht mit der Wirklichkeit überein. Die Länge der einzelnen Meridianabschnitte korrespondiert zwar durchaus mit der Größe der entsprechenden Strecke auf dem Perimeterbogen; denn wie der ganze Meridian den Perimeterhalbkreis, so giebt jeder Abschnitt das betreffende Bogenstück gewissermaßen auf der Ebene abgewickelt wieder.

Die Zwischenräume zwischen den verschiedenen Meridianen jedoch sind bei der polaren äquidistanten Projektion relativ zu groß. Angenommen, es

sei eine Halbkugel von dem Radius des zu unseren Schematen gehörigen Kreisbogens (s. Fig. 193) mit ihrem Scheitel auf der Projektionsebene fixiert. Denken wir uns nun die Halbkugel etwa durch neun meridiale Einschnitte in ebensoviele gleiche Teile zerlegt und diese auf der Ebene ausgebreitet, so wird daraus sich folgendes Schema (IV) ergeben:

Fig. 194.



Schema V.

Die Länge eines jeden Meridians ist dieselbe wie in Schema III, ebenso ist jeder 10° entsprechende Abschnitt des Meridians bei beiden gleich groß; aber die Breite der Segmente ist in Schema IV viel geringer, als dies für Schema III der Fall wäre. Bei jenem lassen jedesmal zwei benachbarte Kugelausschnitte einen freien Raum zwischen sich, um den sie bei der Entfaltung auseinandergewichen sind. Dieser ist in Fig. 192 gar nicht

berücksichtigt. Daraus folgt, dass bei einem in Schema III eingetragenen Gesichtsfelde, wenn wir eine geographische Bezeichnung anwenden wollen, die »Längengrade« gegenüber den »Breitengraden« der Hemisphäre zu groß ausfallen würden: ein kreisförmiger Gesichtsfelddefekt würde die Gestalt eines Ovales annehmen, dessen lange Achse den Parallelkreisen entspräche.

Ein Schema, wie es Fig. 193 darstellt, wird aber für die Aufzeichnung des Perimeterbefundes nicht praktisch verwertbar sein, zumal da, wenn die Wiedergabe eine ganz genaue sein soll, eine Teilung der Halbkugel in neun Sektoren nicht genügen würde.

§ 177. Hirschberg (59) hat zur Darstellung des Perimeterbefundes die orthographische oder orthogonale Projektion vorgeschlagen. Der Ausgangspunkt derselben liegt in unendlicher Entfernung von der Projektionsebene. Die Projektionslinien werden so einander parallel: es sind die Senkrechten, die von den einzelnen Punkten der Kugeloberfläche auf die Ebene gefällt sind.

Die Meridianabschnitte zwischen den Fußpunkten der Senkrechten sind hier wieder verschieden groß, und zwar nehmen sie ab zur Peripherie hin. Auch hier würde also ein rundes Skotom oval erscheinen, und zwar noch mehr verzerrt als in Schema III. Reicht das Gesichtsfeld über 90° hinaus, so lässt es sich überdies mit Hirschberg's Schema nicht aufzeichnen. Der entsprechende Parallelkreis würde wieder mehr central zu liegen kommen.

Groenouw (167) hat ausgerechnet, wie sich ein unmittelbar an den Äquator angrenzendes viereckiges Skotom von 10° Seite bei einem Radius von 10 cm einerseits in der äquidistanten polaren, andererseits in der orthogonalen Projektion präsentieren würde. Auf der Kugeloberfläche würde dies Skotom nahezu ein Quadrat darstellen: und zwar wäre dessen Seite auf dem 80. Parallelkreis 17,2 mm, auf dem 90. 17,4 mm, und der (meridiale) Abstand zwischen beiden = 17,4 mm. In Förster's Schema ist das Verhältnis der mittleren Breite des Skotoms zu dessen Höhe etwa wie 2 : 3, bei der orthogonalen Projektion (Hirschberg) gar wie 1 : 11.

§ 178. Das Fixationszeichen verlegte Förster (s. o.) ursprünglich 15° nach innen von dem Nullpunkte seines Perimeters, um die Eintrittsstelle des Sehnerven dem Scheitel des Bogens gegenüber zu bringen. Mit anderen Worten, er machte die Papille zum Ausgangspunkte der Gesichtsfeldmessung und folglich auch zum Centrum seines Gesichtsfeldschemas. Landolt hat in seinem Perimeter (1872) diesen Modus aufgegeben und den Nullpunkt jenes zur Fixation, die Fovea centralis zum Ausgangspunkte der perimetrischen Messung gewählt. In der Gesichtsfeldwiedergabe entspricht das Centrum also der Stelle des deutlichsten Sehens. Landolt's Prinzip der Perimetrie dürfte wohl deswegen vorzuziehen sein, weil ja

die Makula einerseits das physiologische Centrum der Netzhaut, andererseits den hinteren Pol des Auges darstellt. Dies Verfahren ist seither das weitaus verbreitetste, sozusagen das klassische geworden.

§ 179. In gewöhnlichen Fällen mag es genügen, die Gesichtsfeldgrenzen für vier Meridiane, die um je 45° voneinander entfernt sind, festzustellen. Zu einer genauen Untersuchung muss man die Zwischenräume kleiner wählen.

Bezüglich der Benennung der einzelnen Meridiane besteht leider noch keine Einmütigkeit. Eine nach dem gleichen Prinzip für alle Gesichtsfeldschemata durchgeführte Numerierung hätte den Vorzug, dass sich das Gesichtsfeld auch ohne Schema durch eine Zahlenreihe ausdrücken ließe, deren einzelne Ziffern den gefundenen Grenzpunkt für die verschiedenen Meridiane in der vereinbarten Reihenfolge angeben würden. Bei eingehenden Untersuchungen könnte etwa nach Förster's (99) Vorschlag die Nummer des Meridians in Klammer vor die betreffende Gradzahl gesetzt werden.

Förster meint, man solle die Numerierung bei dem rechten Gesichtsfeld nach rechts, bei dem linken nach links herumführen und sie am oberen Ende des senkrechten Meridians beginnen lassen. Gerade dieser eigne sich besonders zum Ausgangsort für die Bezifferung, weil er die Grenze zwischen den Gebieten der beiden Tractus optici darstelle. Die Schwierigkeit, die Stellung des Perimeterbogens für jedes der beiden Augen sofort ablesen zu können, lässt sich dadurch heben, dass die verschiedene Meridianeinteilung auf beiden Seiten eines auf der Meridianscheibe befestigten Ringes angebracht ist, innerhalb dessen sich der Zeiger dreht. Der Ring ist leicht abnehmbar und lässt sich der Meridianscheibe wieder anpassen.

Hirschberg (l. c.) bezeichnet nach Art des Zifferblattes der Uhr die Endpunkte der je 30° auseinanderliegenden Meridiane seines Gesichtsfeldschemas mit den Zahlen I bis XII. Schreibt man die erhaltenen Zahlenwerte in zwei Querreihen untereinander, so hat man zur Bestimmung der Gesamtausdehnung des Gesichtsfeldes in einem jeden der sechs untersuchten Meridiane jedesmal nur die untereinanderstehenden beiden Zahlen zu addieren. Damit wird aber die Bezeichnung intermediärer Meridiane, deren Erforschung oft genug notwendig ist, kompliziert.

Gillet de Grandmont (114) glaubte die Untersuchung im allgemeinen auf die beiden Hauptmeridiane, den vertikalen und horizontalen, beschränken zu können. Er begann die Bezifferung außen und führte sie oben herum weiter. Wenn man dann Unterschiede, die geringer sind als 10°, vernachlässigt und bei der Angabe der Gesichtsfeldgrenzen in Gradzahlen also nur die Zehner berücksichtigt, so lassen sich die Grenzen einfach durch eine vierstellige Zahl ausdrücken, also etwa durch 9667 für das normale Gesichtsfeld. Nimmt man die Prüfung in vier Meridianen vor, so würde die Zahl eine achtstellige werden.

In Nieden's (121) Schema beginnt die Zählung am linken Ende des horizontalen Meridians eines jeden Auges und geht dann weiter nach rechts herum wie der Uhrzeiger, so dass für das linke Auge das temporale Ende des horizontalen Meridians mit 0 bezeichnet ist, das nasale mit 180, für das rechte Auge umgekehrt. 90 und 270 stehen beide Male am oberen bezw. unteren Ende des senkrechten Meridians.

Der Vorschlag zu dieser Art der Aufzeichnung ging von Knapp aus, der damit einer von Helmholtz beim Studium der Augenbewegungen gegebenen Anregung folgte. Die Augenbewegungen haben jedoch mit dem Gesichtsfelde nichts zu thun, und auch im übrigen dürfte wohl diese Art der Gesichtsfeldbezeichnung nicht sehr begründet sein. Die Methode hat außerdem, worauf Förster (l. c.) hinweist, den Nachteil, dass die Stelle des blinden Fleckes für das linke Auge zwischen den Meridianhälften 260 und 275, für das rechte zwischen 85 und 100 gelegen ist.

Nach einer sehr verbreiteten Art der Graduierung der Perimeterschemata wird das obere Ende des vertikalen Meridians als Nullpunkt für die Meridianbezeichnung genommen. Von da an geht die Einteilung auf beiden Seiten in gleicher Weise weiter, so dass 90° beiderseits den horizontalen Meridian und 180 das untere Ende des vertikalen bezeichnet. Der Nullpunkt der Parallelkreise ist selbstverständlich das Centrum des Schemas.

In manchen der in großer Zahl entworfenen Perimeterschemata ist die Grenze des normalen Gesichtsfeldes, ja sogar der Ort der Papille, schon zum voraus eingezeichnet. Wir halten dies jedoch durchaus nicht für einen Vorteil, da weder die Ausdehnung, noch die Form des Gesichtsfeldes, noch die Lage des Sehnerveneintrittes konstant sind.

Die Blätter zur Aufzeichnung des Gesichtsfeldes enthalten wohl auch Rubriken für den Namen des Patienten, die Journalnummer, das Datum der Untersuchung, für Sehschärfe, Diagnose der Erkrankung, die Größe und Farbe des Prüfungsobjektes.

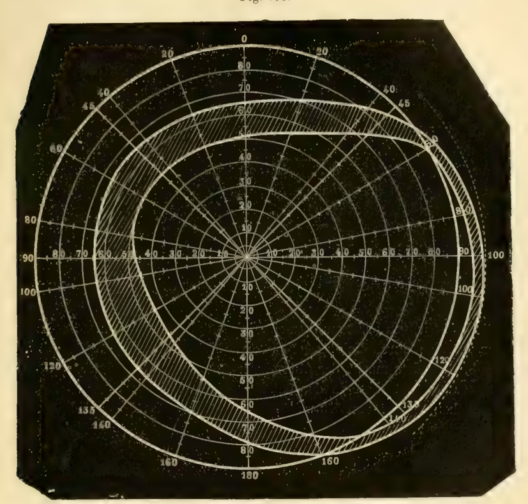
Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes.

§ 180. Es ist schon eingangs dieses Kapitels darauf hingewiesen worden, von wie mannigfachen Faktoren die Gestaltung der Grenzen des Gesichtsfeldes abhängig ist. Der Einfluss der Adnexe und Nachbarorgane des Auges lässt sich leicht ausschalten, wenn man den Patienten bei der Untersuchung den Kopf nach der dem jedesmaligen Hindernis entgegengesetzten Seite drehen lässt oder zur Fixation einen Punkt wählt, der, in dieser Richtung gelegen, genügend weit vom Nullpunkte entfernt ist. Die Differenz zwischen den so resultierenden Werten und denjenigen, die man bei der üblichen Gesichtsfeldaufnahme erhält, stellt die Größe jenes Einflusses dar. Die von Aubert l. c. und Donders (l. c.) in diesem Sinne angestellten Untersuchungen sind später (Landolt l. c., Plenk 65, Butz l. c. wieder

aufgenommen worden. LANDOLT hat seine Resultate in einer Zeichnung (Fig. 195) wiedergeben. Die schraffierte Partie zeigt die in Rede stehende Differenz an.

Die innere Kurve, bei geradeaus gerichtetem, unverändertem Blicke. — Die äußere Kurve bei Drehung des Kopfes zur Vermeidung der das Auge umgebenden Teile des Gesichtes.

Fig. 195.



Gesichtsfeld von Dr. E. LANDOLT's rechtem Auge.

DONDERS hebt mit Recht hervor, dass es für das Ergebnis solcher Messungen sehr wesentlich ist, von welcher Kopfstellung aus die Wahrnehmung geschieht. Er selbst fand beispielsweise, von der Primärstellung der Augen ausgehend, an sich und fünf anderen Untersuchten im horizontalen Meridian keine Erweiterung, weder nasal- noch temporalwärts, während LANDOLT, bei der gewöhnlichen Kopfhaltung, gerade zur Nasenseite hin einer sehr großen Differenz begegnete. Individuelle Verschiedenheiten in der Gesichtsbildung werden hierbei von erheblichem Einfluss sein.

Es ist die Pflicht des Untersuchers, vor der Prüfung mit dem Perimeter sich den Patienten auf ein solches Hindernis anzusehen und dasselbe nach Möglichkeit auszuschalten. Bei Ptosis z. B. würde dies leicht durch Emporheben des oberen Lides geschehen können.

§ 181. Vergleicht man eine größere Zahl von Gesichtsfeldaufnahmen des normalen Auges, mit allen Kautelen gemacht, so trifft man Unterschiede, die in einzelnen Richtungen bis zu 15° und mehr gehen. Mancherlei Momente, die auf die Form des Gesichtsfeldes Einfluss haben, lassen sich eben nicht einmal genau schätzen, noch viel weniger genügend berücksichtigen. Es ist deshalb auch nicht möglich, ein Normalgesichtsfeld zu konstruieren, höchstens kann man einen Durchschnittswert angeben. Diese Frage ist wiederholt experimentell behandelt worden, allein die Werte wurden meist unter so verschiedenen Bedingungen gewonnen, dass nur wenige davon direkt miteinander in Parallele zu setzen sind. Baas (l. c.) hat eine Zusammenstellung der Resultate gegeben, die er und neun andere Untersucher (Butz l. c., Donders l. c., Drott l. c., Hegg 145, Landolt, Reich 40, Schön 55, Stöber 104, Treitel 82) mit annähernd dem gleichen — meist 20 mm² großen — Prüfungsobjekt erhielten, und daraus den Gesamtdurchschnitt für die beiden Hauptmeridiane berechnet:

Oben	Außen	Unten	Innen
65°	99°	76°	63°

Hierbei ist jedoch nicht zu übersehen, dass die Mehrzahl der in Rechnung gezogenen Werte durch die oben erwähnte »Eliminationsmethode« gewonnen wurde; bei manchen macht der Autor keine Angabe über die Art der Untersuchung. Geschieht diese in der üblichen Weise und mit dem wohl meist gebräuchlichen Objekt von 10 mm², so erhält man im Durchschnitt etwa folgende Zahlen:

Oben	Außen	Unten	Innen
56°	93°	65°	60°

Das sind annähernd Grenzen, wie sie in dem Nieden'schen Schema eingezeichnet sind.

v. Reuss (203) perimetrierte die Augen von 10 normalsichtigen (oder leicht myopischen) Personen im Alter von 20—30 Jahren und fand die Mittelwerte bei einem 10 mm² Objekt etwas anders:

Oben	Außen	Unten	Innen
53,5	88,5	70,2	58,2

§ 182. Von Wichtigkeit ist die Beantwortung der Frage: Wo hat man die unterste Grenze der normalen Gesichtsfeldausdehnung zu

suchen? Recht verschiedene Anforderungen sind an die Größe dieses »minimalsten physiologischen Gesichtsfeldes« gestellt worden. Als Grenze nehmen an:

	Ob.	Ob.-A.	A.	U.-A.	U.	U.-I.	I.	Ob.-I.	
FÖRSTER (28)	45	55	85	90	65	45	45	40°	reduziert auf die Macula lutea als Mittelpunkt
TREITEL (l. c.)	42	65	82	85	65	43	38	36°	ebenfalls; Mittelwert aus 16 Messungen
LANDOLT	55	70	90	85	60	55	55	55°	
HAAB (54)	40	56	70	75	64	50	45	46°	

Diese Zahlen sind nicht mit derselben Objektgröße gefunden; ein Mittelwert lässt sich aus ihnen also nicht ableiten. Nehmen wir als Prüfungsobjekt wiederum ein Quadrat an von 10 mm Seitenlänge, so ist die Grenze für »das kleinste physiologische Gesichtsfeld« etwa so zu fixieren:

Ob.	Ob.-A.	A.	U.-A.	U.	U.-I.	I.	Ob.-I.
50	68	85	85	60	50	55	52°

§ 183. Das durch geeignete Kopfhaltung erzielte erweiterte Gesichtsfeld nennt DONDERS das »absolute«. Es empfiehlt sich, mit BAAS (l. c.) diese Bezeichnung für die größtmögliche Ausdehnung überhaupt zu reservieren. Seit SCHWEIGGER's (66, 81) Untersuchungen, die BUTZ (l. c.) und BAAS (l. c.) bestätigen konnten, wissen wir, dass bei passender Versuchsanordnung im dunklen Raum ein leuchtendes Objekt auf der temporalen Hälfte der Retina fast ebenso peripher wahrgenommen wird als auf der medialen, dass also die Lichtempfindung in der Netzhaut nirgends fehlt. Für die äußerste Zone der Membran ist sie nur herabgesetzt und reicht nicht aus, um das gewöhnliche weiße Prüfungsobjekt erkennen zu lassen. Es decken sich demnach die Grenzen des absoluten Gesichtsfeldes mit denen der Netzhaut.

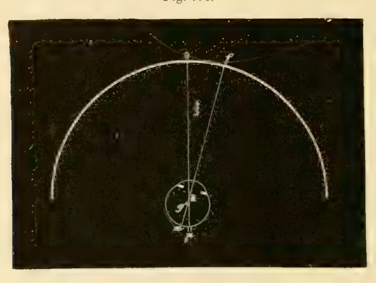
Der blinde Fleck.

§ 184. Im Bereich der Eintrittsstelle des Sehnerven fehlt die Gesichtswahrnehmung; jene stellt daher eine Lücke im Gesichtsfelde dar. Da die Papilla nervi optici nach innen und etwas nach oben von der Macula lutea gelegen ist, so muss der entsprechende Gesichtsfelddefekt, der sogenannte MARIOTTE'sche Fleck, seinen Ort nach außen und etwas nach unten vom Fixierpunkte haben.

Zur Berechnung der Entfernung zwischen Papille und Macula lutea des emmetropischen Auges haben u. a. TH. YOUNG (113), LISTING (8) und HELMHOLTZ (l. c.) (s. u.) Anhaltspunkte gegeben. Für Augen verschiedener Refraktion stellten LANDOLT (36), DOBROWOLSKY (35), SCHLEICH (118) und MAUTHNER (l. c. S. 528) Messungen an.

Landolt verfuhr dabei folgendermaßen: Im Nullpunkt seines Perimeterbogens war ein weißes Papierscheibchen angebracht, dessen Größe und Form ungefähr dem Mariotte'schen Fleck in dessen Projektion auf die Perimeterkrümmungsfläche entsprach. Der Kopf des zu Untersuchenden war in der gewohnten Weise so gestellt, dass der Knotenpunkt des Auges mit dem Krümmungsmittelpunkt des Bogens zusammenfiel. Der Blick folgte der Spitze eines Bleistiftes, der längs des Kreisbogens zur Nasenseite hin geführt wurde. So ließ sich ein Punkt finden, bei dessen Fixation die weiße Marke im Nullpunkte der Perimetereinteilung unsichtbar wurde, indem (Fig. 196) das Bild der Marke (*o*) gerade auf die Papille (*p*) fiel. Da zu gleicher Zeit die Fovea centralis (*m*) dem Fixierpunkte (*f*) entsprach, so gab

Fig. 196.



die Stellung des letzteren sofort die Winkelgröße an, um die, vom Knotenpunkt aus gesehen, in vertikaler wie in horizontaler Richtung Papille und Fovea centralis voneinander entfernt sind.

Allerdings korrespondieren, selbst die Kugelform der Netzhautausbreitung angenommen, die durch eine solche Winkelgröße auf der Retina und dem Perimeterbogen gemessenen Strecken nicht ganz miteinander, denn der Krümmungsmittelpunkt jener Sphäre fällt nicht mit dem Knotenpunkte des Auges zusammen. Der daraus entstehende Fehler ist jedoch, wie schon Mauthner (65) betont, wegen der geringen Größe des Bulbusradius im Verhältnis zu demjenigen des Perimeterhalbkreises zu vernachlässigen.

Landolt hat diesen Winkel mit ξ bezeichnet; er fand ihn für das emmetropische Auge in der Horizontalen zu 15°, in der Vertikalen zu 3°. Im hyperopischen Auge waren diese Werte fast ausnahmslos größer, in dem myopischen kleiner. Der Unterschied nahm im ganzen mit dem Grade der Ametropie zu. So fand Landolt bei einem Hypermetropen von 3,5 D.

einen Winkel ξ von 19°, während dieser bei einem kurzsichtigen Auge von 13 D. bis auf 11° gesunken war.

Im allgemeinen verhielt sich der Abstand in vertikaler Richtung demjenigen in der Horizontalen analog. Ganz konstant war dies Verhältnis jedoch nicht. In einem Falle von Myopie $<$ 1 D. traf Landolt sogar unter sonst normalen Umständen die Macula lutea nicht oberhalb, sondern unterhalb der Papille an.

Dobrowolsky's (l. c.) Resultate stimmen mit denjenigen Landolt's gut überein. Ebenso diejenigen, die Botto auf dem Kongresse der italienischen Ophthalmologen zu Palermo (1892) veröffentlichte. Auch Schleich's Untersuchungen ergaben für das hypermetropische Auge eine größere Entfernung zwischen Fixationspunkt und blindem Fleck, als für das emmetropische. Bei Myopie ohne Sichel war die Distanz eine geringere als in der Norm. Mauthner (l. c.) hingegen fand für Augen verschiedener Refraktion einen solchen Unterschied weder konstant noch in bestimmtem Sinne.

Bei Deutung dieser Befunde ist selbstverständlich zu berücksichtigen, dass gleichen Winkeln durchaus nicht gleiche lineare Werte entsprechen. Die lineare Ausdehnung auf der Retina wird nicht allein durch die Öffnung des Winkels ξ, sondern auch durch die Höhe seines Scheitels, des Knotenpunkt-Netzhautabstandes, bestimmt. Es ist, wenn wir diesen mit g'', die gesuchte Entfernung mit x bezeichnen:

$$x = g'' \sin \frac{\xi}{2}\,.$$

g'' wird im achsenhyperopischen Auge kleiner, im achsenmyopischen größer als im emmetropischen.

Nimmt man für das emmetropische Auge $g'' = 15$ mm an (Listing), so wird x für einen Winkel ξ von $15° = 3{,}9$ mm; für $3° = 0{,}78$ mm. Der erstere Wert entspricht dem horizontalen, der letztere dem vertikalen Abstande der Fovea centralis von der Sehnervenpapille. — E. H. Weber (s. Listing l. c.) fand den horizontalen Abstand am Leichenauge = 3,8 mm, was mit obigen Messungen sehr gut stimmt.

Diese Art, die Lage des blinden Flecks zu berechnen, ist selbstredend nur dann statthaft, wenn Sehnervenpapille und Macula lutea annähernd gleich weit vom Knotenpunkt des Auges entfernt sind. Fälle von Myopie mit Ausbuchtung der Bulbushüllen am hinteren Pol sind also davon auszuschließen. Für das kurzsichtige Auge mit Conus papillae soll man, worauf besonders Mauthner (l. c.) hinweist, die Messung nicht etwa von der Mitte des blinden Fleckes aus anstellen. Denn bei einer einigermaßen breiten atrophischen Sichel ist die darüber liegende Netzhaut meist in ihrer Funktion gestört. Der blinde Fleck setzt sich also aus der Papille und dem Conus zusammen, und da dieser in der Regel sich an die temporale Seite des

Opticuseintrittes anschließt, so würde die gesuchte Entfernung zu kurz berechnet werden.

§ 185. Die Ausdehnung des blinden Fleckes lässt sich, ebenso wie sein Abstand von der Makula, sowohl mit dem Perimeter als durch die Projektion auf die Fläche bestimmen.

Helmholtz (l. c.) hat die Aufzeichnung so gemacht, dass er aus einer Entfernung von 20—30 cm eine auf ein Blatt Papier gezeichnete Fixiermarke betrachtete. Dann führte er eine mit der Spitze in Tinte getauchte hellfarbige Feder in die Projektion des blinden Fleckes hinein, bis die schwarze Spitze verschwand, und schob sie nach den verschiedenen Richtungen gegen die Peripherie vor, die Punkte bezeichnend, wo sie wieder erschien.

Man kann selbstverständlich auch umgekehrt, während das Auge einen Punkt des Kampimeters fixiert, dem blinden Flecke successive von allen Seiten her ein kleines Objekt nähern und die Punkte markieren, wo es verschwindet.

Bezeichnet man die Entfernung der Projektionsfläche vom Knotenpunkte des Auges mit g', die Knotenpunkt-Netzhautdistanz mit g'' (für den Refraktionszustand des Auges jedesmal zu berechnen), den Durchmesser der Zeichnung des blinden Fleckes mit B, so lässt sich die diesem Durchmesser auf dem Augenhintergrunde entsprechende Größe β nach der Formel aufsuchen:

$$\beta = \frac{B \cdot g''}{g'}.$$

Fig. 197.

F X Y

g'

A

Für den horizontalen Durchmesser der Sehnervenscheibe haben verschiedene Autoren, $g'' = 15$ mm angenommen, folgende Werte gefunden:

Listing	1,55 mm.
Helmholtz	1,81 »
Hannover und Thomson (7)	1,616 »
Landolt	1,86 » als

Mittel aus mehreren Messungen an seinem eigenen emmetropischen Auge. Den vertikalen Papillendurchmesser stellt Landolt für dasselbe Auge auf 2,1 mm fest.

E. H. Weber maß die Papille an den Augen zweier Leichen und fand deren horizontalen Durchmesser zu 2,1 und 1,72 mm.

Wünscht man nur den einem Durchmesser des blinden Fleckes entsprechenden Winkel zu kennen, so kann man ihn aus der Projektion auf die Fläche berechnen, und zwar in folgender Weise:

Sei A (Fig. 197) der Knotenpunkt des Auges, F der Fixierpunkt, XY ein Durchmesser des blinden Fleckes, so ist der gesuchte Winkel XAY offenbar gleich der Differenz zwischen den Winkeln FAY und FAX.

Den ersteren findet man nach der Formel:

$$\operatorname{tang} FAY = \frac{YF}{AF} \text{ resp. } \frac{YF}{g'};$$

den letzteren nach derjenigen:

$$\operatorname{tang} FAX = \frac{XF}{g'}.$$

Noch einfacher ist es, diesen Winkel direkt mit dem Perimeterbogen zu messen.

Der horizontale Durchmesser des blinden Fleckes entspricht folgenden Winkelwerten:

Nach Hannover und Thomson (l. c.) zwischen 3°39′ und	9°47′
» Listing (l. c.)	5°56′
» Griffin (2)	7°31′
» Helmholtz (l. c.)	6°30′
» Aubert (21)	5°51′
» Fick und du Bois-Reymond (6) zwischen 5°4′ und	6°3′
» Wittich (19) am linken Auge	8°
» » rechten »	7°30′
» E. Landolt (74) (für den auf die Fossa centralis hin gerichteten Durchmesser)	6°45′
» Ole Bull (l. c.) (im Mittel)	6°30′
» Baas (l. c.) (im Mittel)	6°12′.

Der vertikale Durchmesser repräsentiert, wie Baas anführt, i. a. einen etwas größeren Wert. Auch Aubert fand ihn zu 6°, also etwas größer als in horizontaler Richtung.

Mauthner (l. c.) hat am Perimeter kurzsichtige Augen untersucht und festgestellt, dass ein kleiner Conus papillae den blinden Fleck nicht vergrößert. War die atrophische Sichel sehr breit, so konnte der Diameter auf das Dreifache der Norm wachsen. Für hyperopische Augen erhielt Mauthner die gleichen Winkelwerte wie für die mit unkomplizierter Myopie.

Schleich (l. c.) sah bei Myopie mit Sichel den Durchmesser des blinden Fleckes größer ausfallen als in dem kurzsichtigen Auge ohne Komplikation.

Plenk (l. c.) hat bei einem Conus von doppelter Breite der Papille den Durchmesser der letzteren nur um 1° vergrößert angetroffen. Also ist der Einfluss der Aderhautatrophie am Sehnerveneintritt in diesem Sinne nicht stets ihrer Ausbreitung proportional.

Die Lichtempfindlichkeit des Conus papillae lässt sich auch (Donders) direkt prüfen, indem man mit dem Augenspiegel das Bild einer kleinen Lichtquelle auf jene Stelle entwirft. Mauthner setzte zu diesem Zweck der Untersuchungslampe einen geschwärzten drehbaren Metallcylinder auf, in dem in der Höhe der Flamme verschieden große Öffnungen angebracht waren. Diese dienten dann als Lichtquelle. Der Patient musste angeben, wann er von dem Flammenbild, das der Untersucher mittelst der Spiegeldrehung allmählich über Papille und Conus wandern ließ, eine Lichtempfindung habe. Die Methode erfordert absolute Ruhigstellung des Auges.

Wie aus einer Mitteilung von Zehender (20) hervorgeht, hat Daniel Bernoulli bereits im Jahre 1728 Größe und Form des blinden Fleckes, der mit der Lage des Sehnerveneintrittes vollständig korrespondiere, genau bestimmt und ihn als eine Ellipse beschrieben, deren längere Achse vertikal gestellt sei und deren Mittelpunkt oberhalb der durch den Fixierpunkt gezogenen Horizontalen liege.

§ 186. Die Papilla nervi optici ist nicht die einzige Stelle des Augenhintergrundes, an der sich normalerweise ein Ausfall im Gesichtsfelde findet. Schon von Coccius (21) und von Aubert und Förster (14) sind kleinste physiologische Skotome entdeckt worden, die »anscheinend konstant vorkommen«. Landolt (s. u.) konnte das Vorhandensein derselben bestätigen. Sie werden wohl mit Recht auf die Teilungsstellen größerer Netzhautgefäße bezogen.

Coccius giebt folgendes Verfahren an, um die kleinen Gesichtsfelddefekte aufzufinden: Auf einem weißen Papierbogen wird die Stelle, die dem Eintritt des Sehnerven entsprechen soll, durch einen schwarzen Fleck markiert. Ober- und unterhalb desselben macht man einen feinen Strich oder Punkt und lässt das Auge an einer Skala von Punkten auf jeder der beiden Seiten des größeren Fleckes entlang wandern, bis der Strich oder Punkt plötzlich verschwindet.

Landolt hat ebenso wie Aubert durch Verschieben kleiner Objekte am Gradbogen die Lage der blinden Fleckchen für das eigene Auge fixiert. Basevi (137) konnte sie bei Emmetropen und Ametropen in mehr als 75 % der untersuchten Fälle von beträchtlicher Zahl stets an derselben Stelle nachweisen. Er fand mit Hilfe eines Prüfungsobjektes von 5 mm² am Perimeter, oder auch zuweilen nach der Mauthner'schen (s. o.) Methode mit dem Augenspiegel in dem oberen Abschnitte des Gesichtsfeldes zwei sehr kleine Skotome, deren Verbindungslinie parallel ist derjenigen zwischen Macula lutea und Mitte des Mariotte'schen Fleckes. Denkt man sich auf letzterer Linie in ihrem Anfangspunkte eine Senkrechte errichtet, so liegt das eine Skotom auf dieser in einer Entfernung von etwa 14—16 Perimetergraden: der Abstand des zweiten von der Macula lutea beträgt etwa 26—28°.

§ 187. Zur Bestimmung der Ausdehnung kleiner Gesichtsfelddefekte hat man sogenannte Skotometer [1]) konstruiert. Sie bestehen im wesentlichen aus einem Diaphragma mit kreisrunder Öffnung, hinter welchem sich zwei unter sich konzentrische Scheiben so drehen lassen, dass ihre Öffnungen nacheinander hinter diejenige des Diaphragmas zu stehen kommen. In dem Instrumente von Guitterez-Ponce (144) enthält die eine Scheibe außer einer leeren Öffnung eine Anzahl solcher mit farbigen Gläsern, die andere eine Serie runder Öffnungen von verschiedenem Durchmesser. In Antonelli's (149) Instrument sind letztere Diaphragmen durch eine Irisblendung ersetzt, der man eine Öffnung von 1—15 mm Durchmesser geben kann. Außerdem enthält es eine Scheibe mit farbigen Gläsern, eine andere mit farbigem Papier, je nachdem man mit durch- oder auffallendem Lichte untersucht.

Ein weiteres Instrument dieser Art, von Truc (188) angegeben, hat außer den runden auch rechteckige Ausschnitte von 1 mm Breite und 1—10 mm Länge. Damit sollen die Durchmesser der Skotome gemessen werden. Wie man sieht, kommen die sogenannten Skotometer den Instrumenten gleich, die wir oben zur Bestimmung des Licht- resp. Farbensinnes mit Hilfe des kleinsten Netzhautbildes aufgeführt haben. Es wird wirklich schwer sein, festzustellen, ob eines jener Objekte deswegen nicht erkannt wird, weil sein Bild auf eine unempfindliche Stelle der Netzhaut fällt (Skotom), oder deswegen, weil sein Netzhautbild zu klein ist, um wahrgenommen zu werden.

Prüfung der Funktionen des indirekten Sehens.

§ 188. Wie das Centrum, so sind auch die excentrischen Teile der Netzhaut auf drei verschiedene Funktionen zu prüfen, auf Lichtsinn, Farbensinn und Formsinn.

Die Untersuchung geschieht nach denselben Prinzipien wie die des Centrums.

Theoretisch lassen sich dazu auch ganz dieselben Methoden verwenden, man braucht nur, statt der Fovea centralis, die zu untersuchende excentrische Netzhautstelle dem Prüfungsobjekte gegenüber zu bringen.

1. Die Prüfung des Lichtsinnes der excentrischen Netzhautteile.

§ 189. Eine genauere Prüfung des Lichtsinnes im indirekten Sehen hat als Erster Aubert (l. c.) experimentell versucht. Nach längerem Aufenthalt im Dunkelzimmer betrachtete er einen zwischen die Elektroden eines Daniell-schen Elementes gespannten und zum Glühen gebrachten Platindraht zuerst central, dann mit einer etwa 30° peripher gelegenen Netzhautstelle. Er bemerkte keinen Unterschied zwischen beiden Helligkeitseindrücken.

1) Sollte besser Skotomatometer heißen.

Weiterhin stellte er gegenüber dem Fenster des vom Tageslicht erhellten Untersuchungsraumes eine Papptafel auf mit weißem Papierquadrat von 25 mm Seitenlänge in der Mitte. Je 25° für das Auge des Untersuchers von dem Quadrate entfernt war nach oben, unten und den beiden Seiten zu eine kleine Fixiermarke angebracht, so dass die fünf Punkte ein Kugelsegment bestimmten von 1 m Radius. Das Auge befand sich in dem Mittelpunkte der Kugel. Der Beobachter fixierte einige Sekunden lang das Probeobjekt selbst, darauf einen der peripher gelegenen Punkte, und gab an, bei welcher von beiden Blickrichtungen das Quadrat heller erschien. Desgleichen wurde dessen scheinbare Helligkeit bei Fixation der einzelnen peripheren Marken verglichen.

Um den Kontrast zwischen Objekt und Umgebung zu verstärken, machte Aubert an der Stelle des Papierquadrates einen ebenso großen Ausschnitt in die schwarze Pappe und erleuchtete diesen im Dunkelzimmer von hinten her durch eine Lampe mit Milchglasglocke. Das Probeobjekt erschien nunmehr central heller. Der Untersucher glaubte jedoch, diesen Unterschied lediglich äußeren, in der Versuchsanordnung gelegenen Umständen zuschreiben zu müssen und nahm an, dass der Lichtsinn in der ganzen Ausbreitung der Netzhaut keine irgendwie erheblichen Verschiedenheiten darbiete.

Hilbert (108) und Kirschmann (135) verglichen zwei Objekte derselben Größe und von objektiv gleicher Helligkeit, die beide zugleich gesehen wurden, das eine central, das andere peripher. Hilbert verwandte dazu im Dunkelzimmer kleine, mit Balmain'scher Leuchtfarbe bestrichene Quadrate, Kirschmann, bei Tageslicht, weiße drehbare Scheiben mit schwarzen Sektoren.

Segal (131) verschob längs des Perimeterbogens ein weißes Plättchen; ein zweites, etwas dunkleres, diente als Fixierobjekt. Er bestimmte die Excentrizität des ersteren, bei der beide Plättchen gleich hell erschienen. Ihr objektives Helligkeitsverhältnis wurde an der rotierenden Scheibe gemessen.

Die beschriebenen Methoden gestatten nur den Vergleich der subjektiven Helligkeitseindrücke zweier mit dem Centrum und einer peripheren Stelle der Netzhaut gesehenen Lichter. Zu einer systematischen Prüfung des peripheren Lichtsinnes ist die vergleichende Untersuchung der Reizschwelle oder der Unterschiedsschwelle notwendig.

Schon die übliche Art der Bestimmung der Gesichtsfeldgrenzen mit farblosem Objekt auf andershellem Grunde ist bekanntlich eine Lichtsinnuntersuchung, allerdings nicht eine solche des Schwellenwertes: sie stellt vielmehr für eine bestimmte Helligkeitsdifferenz die Grenze der Wahrnehmbarkeit fest.

§ 190. Um die Reizschwelle der Netzhautperipherie zu bestimmen, haben Landolt und sein Schüler Charpentier (75) sich des von dem letzteren (68) angegebenen Photoptometers (s. Abschnitt V) bedient.

Das eine Ende des Apparates war in den Fensterladen des Dunkelzimmers eingepasst, das andere, dem zu Untersuchenden zugekehrte, hatte in seinem Diaphragma einen quadratischen Ausschnitt von 3 cm Seite. Um leichter messbare Werte zu erhalten, schwächte man das Tageslicht ab durch sieben in die Fensteröffnung eingesetzte matte Glasplatten und zwei Blätter weißen Papieres.

Zunächst prüften die beiden Untersucher so ihren centralen Lichtsinn. In einer ersten Versuchsreihe genügte hierbei eine Blendenöffnung von 1 mm², um einen Lichteindruck hervorzurufen, in einer zweiten Reihe sogar eine solche von ½ mm². Sodann fixierte das Auge nacheinander einen Punkt, der 15, 30, 60 und 70° nach innen, hierauf einen, der 15, 30 und 45° nach außen von dem leuchtenden Objekte lag. Das für die entsprechenden Stellen des horizontalen Netzhautmeridians zur Wahrnehmung erforderliche Helligkeitsminimum war demjenigen des Centrums gleich, 2—3° paracentral wurde es sogar etwas geringer gefunden. Nur in den periphersten Partien des Gesichtsfeldes nahm die Lichtempfindlichkeit gegenüber der centralen erheblich ab. Wurde die Helligkeit des Objektes so sehr vermindert, dass es bei centraler Fixation nicht mehr wahrgenommen werden konnte, so leuchtete es manchmal wieder auf, wenn der Beobachter etwas an demselben vorbeisah. So bestätigte sich Arago's (15) scheinbares Paradoxon: »pour apercevoir un objet très peu lumineux, il faut ne pas le regarder«.

Auch andere Forscher benutzten zur Helligkeitsänderung des Probeobjektes das Photometerprinzip. Schadow (79) ließ das Licht der erhellten Glasplatte des Photometerkastens in eine Röhre fallen und, durch zwei Nikols abgestuft, am Ende der Röhre auf eine Mattglasscheibe, die bis auf eine 3 mm² große centrale Partie mit schwarzem Papier beklebt war. Von hier ging ein Perimeterbogen aus mit einem Phosphorstückchen im Nullpunkte als Fixiermarke.

Butz (88, 96) untersuchte mit der schon früher von Rählmann (s. u.) angegebenen Modifikation des Bunsen'schen Spektralapparates. Zur Änderung und Messung der Helligkeit dienten wieder zwei Nikols.

§ 191. Da das Centrum der Netzhaut im dunkeladaptierten Auge für sehr schwache Helligkeiten unempfindlich ist, muss die centrale Fixiermarke bei der peripheren Reizschwellenprüfung relativ hell sein. Damit ist die Möglichkeit einer Beeinträchtigung des indirekten Sehens gegeben. Butz ließ darum nicht mit der Fovea, sondern etwas excentrisch fixieren; es genügte dann schon eine schwach leuchtende Marke.

Die Reizung des Netzhautcentrums umging Fick (126), indem er das Auge auf die Mitte des Abstandes zweier senkrecht übereinander stehender Punkte von Leuchtfarbe einstellte, oder auf den Ort in dem dunklen

Gesichtsfelde, der mit den beiden Leuchtpunkten ein gleichseitiges Dreieck bildete.

Ahlström (170) ließ ein genügend helles kleines Licht nur momentan aufblitzen und hoffte so die Richtung für die Fixation im Dunkeln sichern zu können. Er fand jedoch, dass dies nur zutrifft, wenn das Auge sich in den Endstellungen der seitlichen oder vertikalen Bewegungsbahn befand. Als peripheres Objekt diente eine kleine walzenförmige Glühlampe in Metallmantel mit kleinem Ausschnitt. Ein zweiter Metallcylinder mit ebensolchem Fenster wurde darüber geschoben und so die leuchtende Fläche beliebig, fast bis Punktgröße, verkleinert.

Bei der Untersuchung des Netzhautcentrums und der Nachbarschaft auf den Schwellenwert bot v. Kries (187), um den Einfluss der Reizung der Fovea nach Möglichkeit auszuschalten, Fixiermarke und peripheres Objekt dem Auge alternierend dar.

§ 192. Die Objektgröße ist nach Charpentier's (123) Befunden für die periphere Reizschwellenprüfung ohne Bedeutung, solange das Netzhautbild der leuchtenden Marke einen Durchmesser von mehr als 0,17 mm hat. Wird das Objekt kleiner, so muss seine Helligkeit umgekehrt proportional seiner Ausdehnung zunehmen. Gegen die sehr geringe Größe der von Ahlström (s. o.) benutzten Lichtfläche erhebt Katz (174) den Einwand, dass sie an die Funktion der »Punktsehschärfe« (Aubert) Anspruch mache.

Letztere wurde von Guillery (185) systematisch untersucht, indem er das kleinste eben wahrnehmbare Netzhautbild des dunkeladaptierten Auges für Centrum und Peripherie bestimmte. Vor einer konstant beleuchteten blauen Scheibe — das Maximum der Helligkeit liegt bei herabgesetzter Beleuchtung im kurzwelligen Ende des Spektrums — stand ein schwarzer Schirm mit kleiner runder Öffnung, auf die der Tubus eines Volkmann'schen Makroskopes gerichtet war. Längs eines hierunter befestigten Gradbogens wurde als Fixiermarke ein schwacher Leuchtpunkt in gleicher Höhe und ebenso weit vom Auge entfernt wie das Bildchen der Schirmöffnung verschoben.

§ 193. Zur Reizschwellenuntersuchung der peripheren Netzhaut können auch, ebenso wie für das Centrum, statt leuchtender Objekte weiße Scheibchen auf dunklem Grunde verwandt werden (176, 187 u. a.), durch von vorn her auffallendes Licht im sonst dunklen Raume erhellt. Das Auge muss selbstredend gegen das Licht geschützt und dessen Helligkeit so gering sein, dass der schwarze Grund als lichtlos gelten kann.

Einen eigenartigen Modus der vergleichenden Schwellenprüfung zwischen Netzhautcentrum und der Peripherie hat Guillery (183) angegeben. Er soll bei der Untersuchung der Unterschiedsempfindlichkeit (§ 195) näher beschrieben werden.

§ 194. Unerlässlich ist für alle erwähnten Prüfungen eine genügende **Dunkeladaptation** des Auges, welche sich übrigens im Centrum der Retina erheblich langsamer vollzieht als in der Peripherie.

Dobrowolsky und Gaine (63) beobachteten, dass auch im indirekten Sehen ein ganz schwacher Leuchtpunkt, der für die Wahrnehmung eben verschwunden war, wieder auftauchte, wenn das Auge für kurze Zeit geschlossen gewesen. Für die Bestimmung des Schwellenwertes kann dies von Wichtigkeit sein.

Die Befunde der Reizschwellenprüfung in der Ausbreitung der Netzhaut lauten im wesentlichen dahin, dass das eigentliche Centrum gegenüber der benachbarten Zone unterempfindlich ist; im übrigen Gesichtsfelde wurden wesentliche Unterschiede der Funktion nicht gefunden; einzelne Autoren geben diese in einer mittleren Zone etwas höher, nahe der Außengrenze etwas niedriger an. Ahlström konstatierte mit sehr kleinem Objekt eine allmähliche Abnahme zur Peripherie hin.

§ 195. Zur Prüfung der **Unterschiedsschwelle** für Lichtreize in der peripheren Netzhaut verschob Exner (31) eine Masson'sche Scheibe mit randständigem schwarzen Sektorabschnitt auf einer Kreislinie, in deren Krümmungscentrum sich das Auge befand und deren Scheitel fixiert wurde.

Dobrowolsky und Gaine l. c. brachten umgekehrt die Scheibe in den Scheitel des Kreisbogens und bewegten diesem entlang die Fixiermarke. Nur zur Untersuchung der periphersten Netzhautzonen verfuhren sie gleich Exner, da bei starker Seitwärtswendung des Auges eine ruhige Fixation schwierig war.

Snellen und Landolt (57) empfahlen, die Unterschiedsschwelle mit einer kleinen, durch ein Uhrwerk getriebenen, am Perimeterbogen befestigten Masson'schen Scheibe zu untersuchen.

Treitel (136) benutzte für die Peripherie der Retina die gleiche Anordnung, mit der er die Empfindlichkeit des Centrums für Helligkeitsunterschiede bestimmt hatte. Dicht vor einer Weiß und Schwarz mischenden rotierenden Scheibe war ein mattschwarzer Schirm angebracht mit centraler Öffnung. Diese schnitt aus dem beliebig abzustufenden Grau der Scheibe ein Stück heraus, das als helles Objekt auf dem schwarzen Grunde erschien. Der Rotationsapparat wurde in einer Kreislinie mit dem beobachtenden Auge als Mittelpunkt geführt.

Rupp (29) beleuchtete einen senkrecht aufgestellten durchsichtigen Papierschirm von der Rückseite her durch Kerzenlicht. Auf den Schirm fiel der Schatten eines von einer zweiten Kerze beleuchteten straff gespannten Fadens. Durch Änderung des Abstandes der ersten Lichtquelle von dem Papier ließ sich der Kontrast zwischen Schatten und hellem Grunde bis zur Grenze der Erkennbarkeit abstufen, während das Auge einen mehr oder weniger seitlich gelegenen Punkt des Schirmes fixierte.

Den peripheren Lichtsinn suchte GUILLERY (172) mit zwei Scheibchen von 1 mm Radius und geringer Helligkeitsdifferenz zu bestimmen, indem er für einzelne Netzhautzonen das Minimum der zur Wahrnehmung erforderlichen Bildgröße festlegte, während der Helligkeitsunterschied derselbe blieb. Die Versuchsanordnung entsprach im wesentlichen derjenigen zur Bestimmung des physiologischen Punktes (s. § 192). GUILLERY kam es darauf an, die Verteilung »der Elemente für den Lichtsinn« in der Ausbreitung der Netzhaut zu studieren. Will man die Unterschiedsschwelle prüfen, so kann dies, ebenso wie für den centralen Lichtsinn (s. Abschnitt V) nur durch Abstufung der Helligkeitsdifferenz bei stets gleichbleibendem Gesichtswinkel geschehen.

Wie schon (s. § 193) angedeutet, schlug GUILLERY (183) einen von den üblichen Methoden der Gesichtsfelduntersuchung abweichenden Weg ein, wobei es ihm vor allem auf den Vergleich der Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede in den einzelnen Abschnitten der Fovea centralis und Macula lutea ankam. Er bestimmte zunächst den kleinsten centralen Netzhautbezirk, der einen minimalen Helligkeitsunterschied eben wahrnehmen ließ. Vor einen gleichmäßig hellen Hintergrund wurde ein mattschwarzer Schirm gebracht mit kleiner runder Öffnung, und das so entstehende helle Feld durch Vorschieben eines dünnen Deckgläschens periodisch um ein geringes verdunkelt, während allmähliches Abrücken des Schirmes von der hellen Fläche die gewünschte Verkleinerung des Objektes brachte bis zur Schwelle der Wahrnehmung der gesetzten Helligkeitsdifferenz. Dann wurde der durch die Öffnung sichtbare Bereich des weißen Hintergrundes gemessen, mit einem schwarzen Papierscheibchen genau gedeckt und der Schirm dem Beobachter weiter genähert. In der Circumferenz des Scheibchens tauchte dann ein immer breiter werdender heller Ring auf, der in gleicher Weise mittelst des Glasplättchens verdunkelt wurde, bis seine Ausdehnung genügte, um den verursachten Helligkeitsunterschied erkennbar zu machen. Wiederum Messen der entsprechenden Partie der hellen Fläche, Decken mit schwarzem Papier u. s. f. Zum Zwecke der Fixation war das centrale schwarze Scheibchen mit einer feinen Nadel mitten durchstochen, wodurch ein kleiner heller Punkt entstand. Auf die geschilderte Weise geschieht also die Prüfung der Helligkeitsfunktion der Netzhaut zonenweise, und das Verhältnis jener in den einzelnen Abschnitten der Membran drückt sich direkt in dem Verhältnis der zur Wahrnehmung erforderlichen Ausdehnung der verschiedenen Bezirke aus.

Zur Untersuchung der Reizschwelle (s. o.) benutzte GUILLERY im Dunkelzimmer die prinzipiell gleiche Anordnung. Das für sehr geringe Lichtreize unempfindliche Centrum, dessen Ausdehnung sich zu 0,63 mm im Durchmesser ergab, blieb vom Vergleich ausgeschlossen, und der entsprechende Bezirk der erhellten Fläche wurde von vornherein abgedeckt.

GUILLERY fand die Unterschiedsempfindlichkeit am stärksten innerhalb der Fovea centralis; jenseits derselben folgte ein beträchtlicher Abfall, der weiter zur Peripherie hin — die Untersuchung geschah allerdings nur bis 20° — in geringerem, nahezu gleichmäßigem Grade fortschritt. Die Reizschwelle war am niedrigsten in der äußeren Zone der Macula lutea, um peripherwärts zunächst langsam, dann schneller zu wachsen.

§ 196. Wie man sieht, hat GUILLERY mit successiven Helligkeitsdifferenzen gearbeitet und das Minimum der Anfangshelligkeit aufgesucht, das einen bestimmten, sehr geringen Helligkeitszuwachs erkennbar machte. CHARPENTIER 89, 111) bestimmte, welcher Bruchteil der Helligkeit eines leuchtenden Objektes im Dunkelzimmer — allmählich oder periodisch — hinzugefügt werden musste, um den Eindruck einer Helligkeitsänderung hervorzurufen. Betreffs der Methode sei auf die Prüfung des centralen Lichtsinnes (Abschnitt V) verwiesen.

§ 197. Zur Lichtsinnprüfung der peripheren Netzhaut bei Tageslicht ist eine gute Beleuchtung erforderlich. Wie TREITEL feststellen konnte, erfährt bei verminderter Helligkeit das Verhältnis zwischen centraler und peripherer Unterschiedsschwelle eine wesentliche Störung, hauptsächlich auf Kosten der ersteren.

2. Die Prüfung des Farbensinnes der excentrischen Netzhautteile.

§ 198. Hierbei haben wir festzustellen:

1. Die räumlichen Grenzen des Farbensinnes, d. h. wie weit vom Centrum der Netzhaut entfernt eine Farbe noch als solche empfunden wird,

2. den Grad bezw. die Art der Farbenperception der excentrischen Netzhautteile verglichen mit der des Centrums.

Zu dieser Prüfung dienen selbstverständlich dieselben Farben und Untersuchungsmethoden, wie zu derjenigen des Farbensinnes im Netzhautcentrum. Wir verweisen deshalb auch auf das in dem betreffenden Kapitel Gesagte.

Die ersten Untersuchungen über die Grenzen des Farbensinnes wurden vorgenommen mit Pigmenten, die man den Radien des Kampimeters oder dem Bogen des Perimeters entlang führte (KRÜKOW 51).

Dabei zeigte es sich, dass die farbigen Objekte, wenn sie von der Peripherie her dem Centrum sich nähern, eine Reihe verschiedener Nuancen durchlaufen, ehe sie in ihrem wirklichen Farbentone erscheinen, wie es ähnlich für die Beobachtung mit dem Netzhautcentrum bei Zunahme der Beleuchtung zu bemerken ist. Weitaus die meisten der im Handel befindlichen Pigmente sind eben nicht rein, sondern enthalten andere Farben beigemischt. Diejenige Nuance der Mischung wird dann zuerst erscheinen, die überhaupt am weitesten peripher percipiert wird (s. u.).

§ 199. Man hat darum versucht, sogenannte »invariable« Farben herzustellen, d. h. solche, die auf der ganzen Peripherie der Netzhaut entweder nur einen Helligkeitseindruck hervorrufen oder in ihrem wahren Tone gesehen werden. Einmal als farbig erkannt, ändern sie bei weiterem Heranrücken an den Fixierpunkt nur ihren Sättigungsgrad.

Ole Bull (151) wies zuerst auf die Wichtigkeit der Verwendung solcher Farben hin und hat auch als Erster ihre Darstellung versucht. Hess (134) ist auf diesem Wege weiter fortgeschritten und mit Hilfe eines von Hering angegebenen Apparates zu Farben gelangt, die obiger Forderung genügen. Hegg (l. c.) ließ die Farbentöne in anscheinend beständigen Malerfarben auf Metallscheibchen übertragen und machte so auch deren Verwendung bei der klinischen Untersuchung möglich. Alle diese Farben sind jedoch nur bei ganz bestimmten Beleuchtungsbedingungen »invariabel«. Ändert sich die allgemeine Beleuchtung, so wird das Verhältnis gestört.

§ 200. Die Objekte zur Farbenperimetrie sollen, um vergleichbare Resultate zu liefern, nicht nur »rein« sein, sondern auch in ihrer Helligkeit, der Weißvalenz, übereinstimmen. Sinkt die Helligkeit eines farbigen Lichtes unter ein gewisses Minimum, so werden die Grenzen seiner Erkennbarkeit enger. Je größer andererseits bei gleicher farbiger Valenz die Weißvalenz ist, um so leichter kann, bei Herabsetzung der Empfindlichkeit für die betreffende Farbe, diese unter die Schwelle der Wahrnehmbarkeit sinken (Hegg).

Für die invariablen Farben wird auch dies Postulat erfüllt. Die Pigmente des Handels differieren gewöhnlich bedeutend untereinander: meist ist Grün relativ sehr dunkel.

§ 201. Auch die allgemeine Belichtung des Untersuchungsraumes steht, bis zu einem gewissen Grade wenigstens, in geradem Verhältnis zu der Ausdehnung der Farbengrenzen. Diese engen sich bei Abnahme der Helligkeit immer weiter ein, bis endlich zuerst Grün, dann Rot und schließlich Blau verschwindet. Die Weißgrenzen sind dann noch unverändert (Wolffberg l. c.).

Die gleiche Bedeutung kommt der Größe des peripheren Objektes zu, trotz vereinzelter (Woinow 33, Kriükow l. c., Schiiske 17) gegenteiliger Angaben.

§ 202. Endlich ist die Helligkeit des Grundes, von dem sich das Objekt abhebt, nicht ohne Bedeutung. Wie Chodin (69) im Gegensatze zu Woinow gefunden, ist die Empfindlichkeit der Netzhautperipherie für ein farbiges Objekt um so geringer, je mehr dessen Helligkeit mit der des Grundes kontrastiert. Die Farbe wird am weitesten peripher erkannt bei gleicher Weißvalenz beider (Hess l. c.).

Pflüger hat daher, wie erwähnt, die Innenfläche seiner Perimeterhalbkugel mit einem von Hegg dargestellten neutralen Grau ausgemalt. Verwendet man an einem solchen Instrument (Hegg) die invariablen Farben, so erscheint das Objekt sofort farbig, wenn es überhaupt sichtbar wird, resp. es wird erst sichtbar, wenn es farbig erscheint. Dadurch gewinnt die Untersuchung erheblich an Objektivität wie an Exaktheit. Denn da der farblose Helligkeitseindruck der verschiedenen Farben in verschiedener Entfernung vom Fixationspunkt beginnt, so lernt, falls der Grund etwa dunkler ist als das Objekt, der Patient aus dem früheren oder späteren Auftreten jener Helligkeit schon einen Schluss ziehen auf die Art der zu erwartenden Farbe. Des weiteren ist er versucht, den Helligkeitseindruck auf Kosten der Farbenwahrnehmung übermäßig lange festzuhalten. Allerdings wird das Helligkeitsverhältnis zwischen Objekt und Grund sowohl durch jede Beleuchtungsänderung im allgemeinen, als auch durch die verschiedene Helligkeit in den einzelnen Teilen des Perimeters etwas gestört, der beabsichtigte Zweck also nur unvollkommen erreicht.

§ 203. Hess hat gefunden, dass für die invariablen Farbentöne die Grenzen je zweier Paare der vier Hering'schen »Grundfarben« zusammenfallen, nämlich diejenigen für Rot und Grün und, nahezu wenigstens, die für Gelb und Blau. Die Blau-Gelbgrenze ist weiter als die Rot-Grüngrenze. Hegg konnte dies bestätigen. Ole Bull (l. c.) hatte bereits für seine »physiologisch reinen« Farben konstatiert, dass die Rot- und Grüngrenze sich deckten.

Untersucht man mit den gewöhnlichen Pigmentfarben, so findet man, dass unter gleichen Verhältnissen die Ausdehnung des Gesichtsfeldes für verschiedene Farben eine sehr verschiedene ist. Am weitesten peripher wird Blau erkannt. Dann folgen, wie die Mehrzahl der Untersucher angiebt, Gelb, Orange, Rot, Grün, Violett. Gelegentlich wurde die Grüngrenze weiter als die für Rot gefunden. Auch Landolt (l. c. S. 629) konnte dies in einem Falle beobachten, konstatierte aber zugleich mit Hilfe der Prüfung der Reizschwelle, dass der Untersuchte im direkten Sehen Rot erst unter größerem Gesichtswinkel erkannte als Grün. Am meisten variieren die Angaben über die periphere Erkennbarkeit des Violett, entsprechend der schwankenden Zusammensetzung dieser Farbe.

Bei dem Versuche, ein Normalgesichtsfeld für die Farbenwahrnehmung festzustellen, ergaben sich v. Reuss (l. c.) an 20 untersuchten normalen (oder etwas kurzsichtigen) Augen individuelle Unterschiede von 19—40° in den einzelnen Farben.

Im allgemeinen ist zu sagen, dass die Farbengrenzen den Außengrenzen des Gesichtsfeldes für Weiß parallel sind.

Aus solchen Untersuchungen haben manche Autoren den Schluss gezogen, die Peripherie der Netzhaut sei für Farben ganz oder doch teilweise

unempfindlich (Schelske l. c.). Schon Aubert hat jedoch vermutet, dass eine Farbenperception auf der ganzen Ausdehnung der Netzhaut, wenn auch in verschiedenem Grade, statthabe. Landolt (48, 57) gelang es, die Richtigkeit dieser Annahme experimentell darzuthun, und zwar in folgender Weise: In ein absolut dunkles Zimmer fiel nur durch eine kleine Öffnung im Fensterladen direktes Sonnenlicht. Dieses wurde auf das eine Ende des Perimeterbogens gelenkt. Das gut adaptierte Auge befand sich im Centrum des Bogens und wurde, nicht mittelst eines sichtbaren Fixierobjektes, sondern mit Hilfe des Zeigefingers, nach dem entgegengesetzten Ende des Bogens gerichtet. In die beleuchtete Stelle des Bogens wurde nun ein intensiv gefärbtes Papierquadrat von etwas weniger als 1 cm Seite gebracht und der Untersuchte angewiesen, seinen Finger, und damit das Auge, langsam dem Scheitel- resp. Nullpunkte des Perimeters zu nähern. Es zeigte sich dabei, dass, wenigstens auf der nasalen Seite der Netzhaut, die Farben alle schon bei einem Excentrizitätswinkel von 90° richtig erkannt wurden.

Um dieselben Prüfungen auch mit Spektralfarben auszuführen, entwarf Landolt im Dunkelzimmer ein intensives Sonnenspektrum und ließ es durch eine achromatische Linse auf einen, an dem einen Ende des Perimeters befindlichen Schirm fallen. Dieser hatte einen Spalt, mittelst dessen man die einzelnen Farben des Spektrums isolieren konnte. Während nun der Untersuchte wiederum nach langer Adaption und bei verbundenem zweiten Auge das andere Ende des Bogens fixierte, wurde von dem Beobachter irgend eine Farbe des Spektrums auf den Spalt gelenkt. Hierauf wandte der Untersuchte, bei unentwegter Fixation seiner Fingerspitze, welche sich dem Bogen entlang bewegte, sein Auge zu der Farbe hin. Auch diese Versuche ergaben dasselbe Resultat: Alle Farben werden schon bei 90° richtig erkannt, wenn sie intensiv genug sind.

Charpentier (97) hat die Untersuchungen mit farbigen, durch eine elektrische Lampe beleuchteten Gläsern wiederholt und kam zu eben demselben Ergebnisse.

Die peripheren Netzhautzonen sind also nicht farbenblind, es bedarf nur einer größeren Intensität des Reizes als im Centrum, um eine Farbenempfindung auszulösen.

§ 204. Bei Verwendung der invariablen Farben hat man vorgeschlagen, die Prüfung nur mit je einer Komponenten der beiden Farbenpaare vorzunehmen. Hegg weist jedoch mit Recht darauf hin, dass vorher festzustellen wäre, ob auch unter pathologischen Verhältnissen die Grenzen eines jeden Paares zusammenfallen.

Wie bei der Untersuchung der centralen, so hat auch zur Prüfung der excentrischen Farbenwahrnehmung Maxwell's Scheibe Anwendung gefunden, namentlich von Seiten Aubert's und Woinow's.

Auch Landolt's (l. c. S. 633) oben beschriebenes Chromometer eignet sich sehr zur Erforschung der Farbenperception im indirekten Sehen. Es gestattet, die Intensität der Farbe durch Mischung mit absolutem Schwarz in genau bestimmbarem Grade zu modifizieren.

Um ein in seinem Farbenton beständiges Objekt zu erhalten, dessen Helligkeit sich genau feststellen und leicht variieren lässt, hat man versucht, farbige Gläser vor eine kleine Lichtquelle, etwa ein elektrisches Glühlämpchen, gebracht, dem Perimeterbogen entlang zu führen. Unter den farbigen Gläsern ist jedoch rein nur Rot zu finden. Sulzer (197) verwendet daher zur Darstellung der anderen Farbentöne Farbenfilter. Er wählt dazu eine 10 mm dicke Flüssigkeitsschicht und bestimmt den Konzentrationsgrad der Lösung, der eine reine Farbe ergiebt, ohne ihre Intensität zu sehr abzuschwächen. Letztere regelt er mittelst eines verstellbaren Diaphragmas, giebt aber nicht allen Farben dieselbe, sondern einer jeden ihre »relative« Helligkeit, ausgehend von der spezifischen Reizschwelle, d. h. demjenigen Helligkeitsgrad, bei welchem der anfänglich farblose Helligkeitseindruck in eine farbige Erregung übergeht. Die Reizschwelle wurde immer mittelst derjenigen Region der Netzhaut festgestellt, auf welcher sich die Empfindlichkeit für die betreffende Farbe am größten erwies: für Rot, Gelb und Grün war dies die Fovea centralis, wie schon Landolt (s. o.) angegeben, für Blau eine ca. 2—3° von dieser entfernte Zone. Die Größe der Diaphragmaöffnung, die für eine jede Farbe nötig ist, wird gemessen, und dann zur perimetrischen Untersuchung stets das gleiche Multiplum der jeweiligen Diaphragmafläche genommen. Die farbigen Objekte: ein mattgeschliffenes Glas für Weiß, das rote Glas oder eine der betreffenden Farbenlösungen, sind mit dem Diaphragma hinter einer rundlichen Öffnung am Scheitel des Perimeterbogens angebracht. Der Untersucher lässt die Spitze seines Zeigefingers fixieren, den er langsam vom Bogenende dem Objekte nähert. Bei einem auf diese Weise untersuchten normalen Auge sind die Grenzen für alle Farben gleich. Das Objekt erscheint zuerst farblos und dann sofort in seinem eigentlichen Farbenton.

§ 205. Ist die Untersuchung der Farbenperception mit Spektralfarben schon für das direkte Sehen mit so großen Schwierigkeiten verbunden, dass sie sich noch nicht in die augenärztliche Praxis eingebürgert hat, so ist dies noch in höherem Maße für die Farbenperimetrie der Fall.

Wir haben oben schon Landolt's Untersuchungen der Farbengrenzen mit Spektralfarben erwähnt.

Klug (60) hat mit solchen mittlerer Intensität perimetriert. Das Licht eines leuchtenden Bunsenbrenners fiel durch zwei Prismen auf einen Schirm mit schmalem Spalt, der jede beliebige Farbe des Spektrums zu isolieren gestattete. Dies einfarbige Licht bestrahlte, durch ein mattes Glasscheibchen

abgeschwächt, die Rückseite eines kleinen Spiegels, dessen Belag im Centrum teilweise entfernt war. Die kleine leuchtende Fläche diente als Prüfungsobjekt. Der Spiegel war in ein Loch in der Mitte eines senkrecht stehenden Kartons drehbar eingepasst. Von dieser Öffnung strahlten auf dem Karton nach allen Seiten hin, in gleichem Winkelabstande voneinander, Radien aus, denen entlang der Blick geführt wurde. Zu Beginn des Experimentes musste das Bild der Pupille im Spiegel sichtbar sein. Die bei der Änderung der Blickrichtung unvermeidliche Ortsveränderung der Pupille glich eine Drehung des Kopfes im entgegengesetzten Sinne aus.

Rählmann (51) isolierte sich aus einem Sonnenspektrum die einzelnen Farben, um die Grenzen festzustellen, bis zu welchen sie bei zunehmender Excentrizität ihren ursprünglichen Farbenton beibehielten. Er ließ im Dunkelzimmer von einem Heliostatenspiegel reflektiertes Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt auf ein stark brechendes Flintglasprisma fallen und die gewünschte Farbe aus diesem Spektrum durch ein zweites Prisma gehen, um sie möglichst rein zu erhalten. Dann fing er sie mit einem schwarzen Schirm auf, der verschieden große quadratische Öffnungen hatte; mit Hilfe dieser konnte also ein beliebig großes Farbenfeld auf einem zweiten, transparenten Schirm entworfen werden. Das hindurchschimmernde farbige Quadrat wurde längs des Randes eines Förster'schen Perimeterbogens centrifugal verschoben; die Einstellung des Auges geschah durch eine phosphoreszierende Marke oder ein schwaches Spiritusflämmchen.

§ 206. Die Eintragung der Farbengrenzen in das Gesichtsfeldschema hat so zu erfolgen, dass für einen jeden der untersuchten Meridiane der Punkt markiert wird, an dem das Objekt in seinem eigentlichen Farbentone erscheint, nicht, wie man vorgeschlagen hat, der Ort des ersten farbigen Eindruckes. Wenn es auch für den ungeschulten Patienten nicht ganz leicht ist, prompt und genau die Änderung der gesehenen Nuance anzugeben, so würde man ja mit der letzterwähnten Methode nicht etwa auf die eigentliche Farbe des Prüfungsobjektes untersuchen, sondern auf den derselben beigemischten Ton, der weiter peripher erkannt wird.

Besonders für die Farbenperimetrie ist es von Wichtigkeit, das Objekt centripetal zu führen, denn bei der scheinbaren allmählichen Abnahme des Sättigungsgrades ist eine Änderung der Nuance noch viel schwieriger festzustellen.

Geschieht die Untersuchung der peripheren Farbenwahrnehmung mit Pigmenten, farbigen Gläsern oder Spektralfarben mittlerer Intensität, so entspricht, wie bereits erwähnt, die Grenze jener nicht der ganzen Ausbreitung der Netzhaut. Es ist deshalb unerlässlich, jedesmal die Zusammensetzung, Sättigung, Ausdehnung, Beleuchtung u. s. w. der Farben zu berücksichtigen, mit denen die Prüfung vorgenommen wurde.

§ 207. Landolt und seine Schüler (67) haben zum Studium des peripheren Farbensinnes die spezifische Reizschwelle verschiedener Netzhautzonen bestimmt und sie mit derjenigen des Centrums verglichen. Landolt benutzte dazu zunächst Pigmentfarben und schlug einen doppelten Weg ein:

1. Mit Hilfe einer verschieblichen Blende von quadratischer Öffnung wurde festgestellt, welche Größe man den verschiedenen Farben geben musste, damit sie einerseits vom Centrum, andererseits von einer gegebenen excentrischen Netzhautstelle richtig erkannt wurden.

2. Für ein farbiges Objekt von bestimmter Größe wurde das Maximum der Entfernung vom Auge gesucht, für die es noch in seiner Farbe sichtbar war bei centraler und bei excentrischer Fixation.

Die letzteren Versuche ergaben unter anderem, dass Blau mit einer etwas außerhalb der Fovea centralis gelegenen Netzhautstelle besser zu erkennen war als mit dem Netzhautcentrum selbst.

Fick (l. c.) wandte zur Untersuchung des adaptierten Auges seine oben (§ 191) geschilderte Methode an, mit der Variation, dass das Mattglasscheibchen durch möglichst homogenes Licht erhellt war. Zur Darstellung der verschiedenen Farben diente ihm eine Gasflamme oder ein Bunsenbrenner nebst farbigen Gläsern, Seidenpapierschirmen und Schichten von Salzlösung von entsprechendem Farbentone.

Das Ergebnis war, dass das adaptierte Auge central für alle Farben eine größere Empfindlichkeit besitzt als in irgend einer peripheren Zone.

Landolt hat des weiteren mit Spektralfarben im dunklen Raume experimentiert und als Lichtquelle das Drummond'sche Kalklicht benutzt. Das Spektrum wurde auf eine matte Glasplatte in der Objektivöffnung des Charpentier'schen Photoptometers entworfen. Die Platte war von einem Diaphragma mit centraler quadratischer Öffnung bedeckt. Von derselben stellte die Linse des Apparates auf der Okularplatte ein Bild von 1 cm^2 dar. Die Intensität desselben ließ sich mittelst der die Linse mehr oder weniger bedeckenden Blende in genau bestimmbarer Weise modifizieren. (Die Resultate der Versuche sind angegeben in de Wecker und Landolt, Traité complet d'Opht. S. 632.)

Rählmann (53) brachte zur Prüfung der spezifischen Reizschwelle in der Peripherie den modifizierten Spektralapparat von Bunsen in Anwendung, wie dies ähnlich schon vor ihm Lemansky (38) zur Untersuchung des centralen Farbensinnes gethan. Die von einem Reflexspiegel herkommenden Strahlen passieren, durch eine Konvexlinse konzentriert, den Spalt im Kollimatorrohr, fallen auf das zerlegende Prisma und gelangen ins Okularfernrohr. Dort ist ein Spalt angebracht, der ein schmales Spektrum liefert; ein zweiter Spalt isoliert daraus die gewünschte Farbe. Statt des Okulars ist ein Tubus eingeschoben mit zwei Nikol'schen Prismen. Drehen des einen ändert die Intensität des durchfallenden Strahlenbündels. Dies wird bei einer bestimmten

Helligkeit durch den zweiten Nikol betrachtet, dieser gedreht, und je mehr die Hauptschnitte beider Prismen sich der Parallelen nähern, um so intensiver erscheint das farbige Licht. Als Fixierpunkt dient eine Blende mit kleiner Öffnung in einem zweiten, mit dem ersten passend verbundenen Fernrohr, durch welches das andere Auge blickt. Die Excentrizität des so gebotenen Lichtpunktes ist gleich dem Winkelabstande beider Rohre. Rählmann fand auf diese Weise die Farbenempfindlichkeit in der Peripherie erheblich verschieden von der centralen.

§ 208. Im wesentlichen nach derselben Methode bestimmte Butz (l. c.) die absolute Reizschwelle für verschiedene Arten monochromatischen Lichtes im Centrum und der Peripherie der Netzhaut. Das eine der Nikolschen Prismen brachte er vor den Spalt des Kollimatorrohres, das andere vor das Okular des astronomischen Fernrohres. Zwischen diesem Okular und dem Nikol befand sich ein Diaphragma mit einer kleinen Öffnung, durch die jede Farbe isoliert betrachtet werden konnte. Von dem Fernrohre ging ein Perimeterbogen aus, zur Fixation dienten punktförmige phosphoreszierende Marken. Die Beobachtungen ergaben, dass die Empfindlichkeit für Licht jeder Wellenlänge im gut adaptierten Auge peripherwärts bis zum 30. Grade zunahm, um dann für die verschiedenen Lichtarten mehr oder weniger rasch zu sinken.

Dobrowolsky (62) untersuchte die Empfindlichkeit peripherer Netzhautstellen für Helligkeitsunterschiede bei monochromatischem Licht mit Hilfe von Interferenzstreifen, für Unterschiede im Farbenton zwischen zwei benachbarten Spektralfarben (120) mittelst einer Modifikation des Helmholtzschen Ophthalmometers.

3. Die Prüfung des Formsinnes der excentrischen Netzhautteile.

§ 209. Die ersten Untersuchungen über den Formsinn der Netzhautperipherie stammen von Hueck (3) und von Volkmann (4). Diese bestimmten, in welcher Entfernung vom Fixierpunkte des Auges Doppelpunkte und parallele Linien von gewisser Distanz noch getrennt sichtbar waren.

Volkmann benutzte auch, wie er dies ebenfalls zur Feststellung der centralen Sehschärfe gethan, parallel ausgespannte Spinnwebfäden. Um Irrtümer, die durch die Bewegungen des Auges herbeigeführt werden konnten, möglichst auszuschließen, erhellte er die Prüfungsobjekte nur momentan mit einer elektrischen Entladung.

In derselben Art belichtete E. H. Weber (59) einen mit gewöhnlichen Druckbuchstaben bedeckten Bogen, um festzustellen, wieviele Buchstaben zugleich erkennbar waren.

v. Graefe (s. o.) ließ, wie bereits erwähnt, eine Sternfigur fixieren, deren Strahlen aus schwarzen Punkten bestanden. Der Patient musste

angeben, bis zu welcher Grenze er auf jedem dieser Strahlen die Punkte noch unterscheiden konnte.

Aubert und Förster (l. c.) haben die Methode Weber's etwas vervollkommnet. Auf Papierbogen von 65 cm Breite und 162 cm Länge waren Zahlen und Buchstaben von jedesmal gleicher Größe und gleicher gegenseitiger Entfernung gedruckt. Der Bogen wurde senkrecht über zwei horizontale Walzen gespannt, durch deren Drehung stets neue Zeichen zum Vorschein kamen. Die Beleuchtung des Untersuchungszimmers verminderte man so weit, dass der durch eine innen geschwärzte Röhre auf die Papierfläche blickende Beobachter nach einer viertelstündigen Adaptation die Objekte noch eben als matte Punkte erkannte. Er gab an, wieviele der Zeichen er bei dem Überspringen des Funkens einer Leydener Flasche zugleich entziffern konnte. Aus der Größe und gegenseitigen Entfernung jener, sowie dem Abstande des Auges von der Tafel ließ sich leicht die Ausdehnung des Netzhautbezirkes berechnen, in dem Objekte gewisser Größe erkennbar sind.

Aubert und Förster stellten ferner bei Tageslicht Versuche an, also mit kontinuierlicher Beleuchtung. Sie benutzten dazu ein Instrument ähnlich dem Perimeter und eine senkrecht gestellte Tafel. An dem Bogen oder vor der Tafel wurde das Sehzeichen, zwei schwarze runde Scheibchen, Quadrate oder Linien von wechselnder Ausdehnung und Distanz auf weißem Grunde centripetal dem Fixierpunkte genähert.

Das Resultat war, dass die Sehschärfe zur Peripherie hin sehr rasch abnimmt, nach oben und unten etwas schneller als in der Horizontalen. Bei beiden Beobachtern reichten die Grenzen für das linke Auge erheblich weiter nach außen als nach innen, für das rechte umgekehrt.

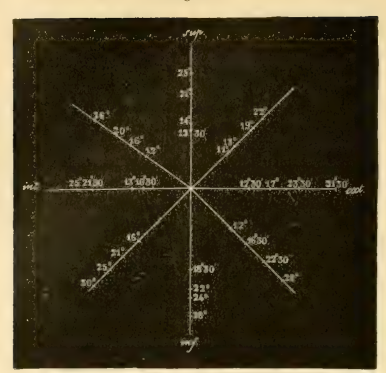
Landolt und Ito haben die Experimente wiederholt mit schwarzen Quadraten verschiedener Größe, die ebenfalls auf weißem Grunde in den Perimeterschlitten eingefügt wurden. Ihr gegenseitiger Abstand entsprach jedesmal ihrer Seite. Er betrug für

Objektgröße	I	1,9 mm.
-	II	2,8 -
-	III	4,7 -
-	IV	6,6 -

Im direkten Sehen wurde deutlich unterschieden:

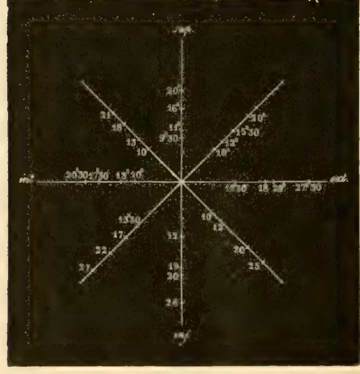
Objektgröße	I	in 453 cm	Entfernung.
-	II	» 704	-
-	III	- 1120	-
-	IV	- 1536	-

Fig. 198.



Landolt.

Fig. 199.



Ito.

Die Ergebnisse waren folgende:

		Ob.	Ob.-A.	A.	U.-A.	U.	U.-I.	I.	Ob.-I.
I.	LANDOLT	12°30′	11°	12°30′	12°	18°30′	16°	10°30′	12°
	ITO	9°30′	10°	11°30′	10°	12°	13°30′	10°	10°
II.	LANDOLT	14°	13°	17°	16°30′	22°	21°	13°	16°
	ITO	11°	12°	18°	12°	19°	17°	13°	13°
III.	LANDOLT	21°	19°	23°30′	22°30′	24°	25°	21°30′	20°
	ITO	16°	15°30′	20°	20°	20°	22°	17°30′	18°
IV.	LANDOLT	25°	22°	31°30′	28°	28°	30°	25°	26°
	ITO	20°	20°	27°30′	25°	26°	27°	20°30′	21°

Fig. 198 und 199 stellen den Befund graphisch dar. Die Entfernung der Punkte gleicher Sehschärfe vom Centrum gestaltet sich hierbei etwas anders, als dies AUBERT und FÖRSTER gefunden.

Da der Perimeterbogen einen Radius von 32 cm hatte, so entsprechen die erhaltenen Werte der peripheren Sehschärfe einer centralen von

$$\frac{32}{453} = \frac{1}{14} \text{ für Objektgröße I.}$$

$$\frac{32}{704} = \frac{1}{22} \quad \text{II.}$$

$$\frac{32}{1120} = \frac{1}{35} \quad \text{III.}$$

$$\frac{32}{1536} = \frac{1}{48} \quad \text{IV.}$$

Wie bei Herabsetzung der centralen Sehschärfe, so ist es auch für die excentrischen Netzhautteile, deren Sehschärfe der centralen bedeutend nachsteht, schwer, den Moment anzugeben, wo zwei Punkte, z. B. obige Objekte III und IV, getrennt unterschieden werden, d. h. aufhören, einen dunkeln Streifen mit hellerer Verschmälerung in der Mitte zu bilden. In den Regionen, die noch die Objekte II und I unterschieden, waren die Angaben viel genauer.

Untersucht man die Netzhaut mit kleinen Probeobjekten, so treten, wie oben bemerkt, nicht selten kleine physiologische Skotome zu Tage. Sie entsprechen meist größeren Retinalgefäßen, namentlich deren Teilungsstellen. Ein solches Skotom fand LANDOLT für sein rechtes Auge in dem um 45° zur Vertikalen geneigten Meridiane bei 16° nach innen-oben. Dies ist der Grund, warum er in dieser Richtung in einem um 55° geneigten Meridiane untersuchte (Fig. 195).

DOR (46) hat seine Studien über die periphere Sehschärfe am DE WECKERschen Kampimeter gemacht mit SNELLEN'schen Probebuchstaben. Als Sehzeichen wurden weiterhin die SNELLEN'schen Haken und auch SCHWEIGGER's

Buchstaben verwandt. Burchardt (34) fand mit seinen Gruppen von Punkten feine Unterschiede für die Funktion der paracentralen Netzhaut heraus: die Sehschärfe blieb bis $^1/_4$—$^1/_3$° vom Centrum gleich der centralen und wurde bei $^1/_2$° gleich $^4/_5$—$^1/_2$. Weiter peripherwärts lässt sie sich durch einen Bruch ausdrücken mit dem Zähler 1, während der Nenner gleich ist dem 2—4$^1/_2$fachen der Anzahl der Grade, um welche die betreffende Netzhautstelle von der Fovea entfernt ist. Über 40—45° hinaus nimmt der Visus schneller ab. Ein Täfelchen mit neun schwarzen Quadraten war das Objekt Charpentier's (67).

Wertheim (163) untersuchte mit Gittern von schwarzen Drähten, deren gegenseitiger Abstand ihrem Durchmesser gleich war; fünf Drahtstärken kamen zur Anwendung. Auf einer 2 m langen Bahn glitt ein Schlitten mit einem Halter für das Gitter. Dieses hob sich von einer Milchglasplatte ab, die in die vordere Wand eines lichtdicht schließenden Kastens eingelassen und von einer im Kasten brennenden Gasflamme erhellt war. Durch Drehen des Gitters konnte den Drähten, die als schwarze Linien erschienen, jede Neigung gegeben werden. Die Bahn für den Schlitten ließ sich weiterhin in eine beliebige, zur Augenachse des Beobachters radiäre Stellung bringen. Damit das periphere und das Fixierobjekt jedesmal den gleichen Abstand vom Auge haben, dies also für beide in derselben Weise eingestellt sei, damit aber andererseits die Bahnen der Objekte bei der Untersuchung der centralen Netzhaut nicht kollidierten, diente als Fixierpunkt das virtuelle Bild eines in einem Spiegel gesehenen Leuchtpunktes. Diesen lieferte die kleine Öffnung in der Wand eines von innen erhellten Blechkästchens, das auf einer Bahn seitlich hinter dem Beobachter glitt und mit dem Objektschlitten durch Schnurlauf verbunden war. Die Versuche geschahen im Dunkelzimmer.

Wertheim fand, dass die Ausdehnung des benutzten Objektes bei gleicher Drahtstärke für seine Sichtbarkeit nicht ohne Bedeutung sei. Je größer jenes war, d. h. eine je größere Netzhautfläche gereizt wurde, desto höher stieg die periphere Sehschärfe. Aus diesem Grunde wurden die vier Objekte geringster Drahtstärke mit einer Blende bedeckt, deren runder Ausschnitt zu der Dicke der Drähte jedesmal in demselben Größenverhältnis stand. Das fünfte Gitter wurde dem Auge als Ganzes dargeboten. Da das gröbere Gitter in größerer Entfernung erkannt wird als das kleinere, muss es auch eine größere Ausdehnung haben, damit die Bilder beider die gleiche Netzhautfläche bedecken.

Die Verbindungslinie der Punkte gleicher Sehschärfe in den verschiedenen Meridianen wurden untereinander und der Außengrenze des Gesichtsfeldes im ganzen parallel gefunden.

Guillery (184) suchte ebenfalls für einen Netzhautpunkt bestimmter Excentrizität die Sehschärfe zu ermitteln. Er nahm dazu zwei schwarze

Punkte, die, jeder auf einem weißen Karton angebracht, gegeneinander bis zu ihrer Berührung verschoben werden konnten. Das Verhältnis der Helligkeit zwischen Punkten und Grund war stets das gleiche. Die für die Untersuchung der central gelegenen Abschnitte der Netzhaut nötige Verkleinerung des Objektes wurde durch ein Volkmann'sches Makroskop erzielt, das auf den Nullpunkt eines Gradbogens gerichtet war. Für die Zonen jenseits des zehnten Grades bedurfte es dieses Hilfsmittels nicht. Man brachte den Doppelpunkt in diejenige Entfernung vom Auge, die vorher als Grenze der Wahrnehmung eines einzelnen Punktes derselben Größe bestimmt worden war, und stellte nun die Distanz beider Zeichen fest, die sie eben getrennt erscheinen ließ. Der Fixierpunkt war verschieblich und befand sich mit dem Punktpaare immer im gleichen Abstande vom Auge. Er wurde durch einen seitlichen Schlitz im Tubus des Makroskopes betrachtet.

Klug (l. c.) hat nach der von ihm bei dem Studium der Farbengrenzen (s. o.) angewandten Methode auch die indirekte Sehschärfe geprüft, und zwar für ungefärbte und farbige leuchtende Doppelpunkte. Er entfernte zu diesem Zwecke an zwei Stellen den Spiegelbelag. Er fand, dass zur Differenzierung der beiden Punkte ihr Farbenton ohne Belang war.

§ 210. Bei den Untersuchungen des peripheren Formensinnes ist zunächst die Wahl des Probeobjektes von Wichtigkeit. Die genaueste Methode ist wohl die Prüfung mit Doppelpunkten, -quadraten oder -linien. Wie schon Aubert und Förster (l. c. festgestellt, ist hierbei nicht der Abstand allein, sondern auch der Durchmesser der beiden Zeichen von Einfluss auf die Erkennbarkeit des Objektes.

Klug (l. c.) fand allerdings, dass für seine Methode — leuchtende Objekte im dunklen Raume — nur der relative Abstand, nicht die Größe der Punkte in Betracht kam.

Wie oben (s. Abschn. VII, Bestimmung der Sehschärfe) bemerkt, ist es auch für einen geübten und zuverlässigen Beobachter nicht leicht, im direkten Sehen genau den Moment anzugeben, wo er zwei Punkte getrennt unterscheidet, wenn er im voraus weiß, dass er es mit zwei getrennten Punkten zu thun hat. Viel mehr noch gilt dies, wie ebenfalls schon hervorgehoben, für das indirekte Sehen, namentlich bei den klinischen Untersuchungen.

Es ist deshalb ratsam, zu letzteren außer zwei quadratischen Punkten auch die von Landolt angegebenen grauen Rechtecke zu verwenden. Sie haben dieselbe Ausdehnung wie die zwei Punkte mit dem sie trennenden Zwischenraume und ihr Grau entspricht der Mischung des Schwarz der Punkte mit dem Weiß des Zwischenraumes. Sie werden denn auch von dem, der die Punkte nicht getrennt unterscheidet, leicht mit denselben verwechselt und können also zur Kontrolle der Antworten des Untersuchten dienen.

Jedenfalls aber eignen sich zur Prüfung des Formensinnes die Buchstaben im indirekten Sehen noch weniger als im direkten. Hirschberg (74) macht u. a. mit Recht darauf aufmerksam, dass die Buchstaben, die in den diagonalen Meridianen, senkrecht zu diesen stehend, dem beobachtenden Auge schräg genähert werden, erst weiter centralwärts zu erkennen sind als in den orthogonalen. Führt man sie aber auch dort aufrecht an den Fixierpunkt heran, so liegen die peripheren Grenzen des Objektes weiter vom Centrum des Gesichtsfeldes ab als für den entsprechenden Punkt des horizontalen Meridians.

§ 211. Ganz besonders für die Prüfung des Formensinnes der Netzhautperipherie ist der Einfluss der Übung zu berücksichtigen. Der Beobachter lernt in der ersten Zeit, von Sitzung zu Sitzung, das Prüfungsobjekt immer weiter peripher zu differenzieren. Der Arzt darf darum nicht eine anfängliche Erweiterung der Sehschärfegrenzen ohne weiteres als Zeichen der Wiederherstellung gestörter Funktion deuten.

Litteratur zu Abschnitt VIII.

1825. 1. Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. II. Berlin.

1838. 2. Griffin, Contribution to the physiology of vision. Med. Gaz. London.

1843. 3. Hueck, A., Von den Grenzen des Sehvermögens. Müller's Arch. f. Anat. S. 94.

1846. 4. Volkmann, A. W., Wagner's Handwörterbuch. III, 1. S. 331.

5. Weber, E. H., Wagner's Handwörterbuch. III, 2. S. 528.

1852. 6. Fick, A., u. du Bois-Reymond, P., Müller's Arch. f. Anat. S. 405.

7. Hannover, A., Das Auge. Leipzig.

8. Listing, J. B., Berichte d. Kgl. sächs. Ges. d. Wissensch. S. 149.

9. Weber, E. H., Über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. Bericht d. Leipziger Ges. d. Wissensch. II. S. 134.

1853. 10. Listing, J. B., Handwörterbuch der Physiologie. IV. S. 402.

1855. 11. v. Graefe, A., Mitteilungen von Krankheitsfällen und Notizen vermischten Inhalts: Fall von Miosis von Dr. Felix v. Willebrand. v. Graefe's Arch. f. Ophth. I, 1. S. 319.

12. v. Graefe, A., Über die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei amblyopischen Affektionen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. II, 2. S. 258.

13. Meyer, H., Über den Einfluss der Aufmerksamkeit auf die Bildung des Gesichtsfeldes überhaupt und des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes beider Augen im besonderen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. II, 2. S. 258.

1857. 14. Aubert, H., u. Förster, R., Beiträge zur Kenntnis des indirekten Sehens. v. Graefe's Arch. f. Ophth. III, 2. S. 1 u. 38.

1858. 15. Arago, Astronomie. I. S. 189.

16. v. Graefe, A., Exceptionelles Verhalten des Gesichtsfeldes bei Pigmententartung der Netzhaut. v. Graefe's Arch. f. Ophth. IV, 2. S. 250.

1863. 17. Schelske, R., Zur Farbenempfindung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. IX, 3. S. 41.

18. Schuurmann, J. B., Vergelijkende onderzoek der beweging van het oog bij emmetropie en ametropie. Proefschrift. Utrecht.

1863. 19. Wittich, Studien über den blinden Fleck. v. Graefe's Arch. f. Ophth. IX, 3. S. 1.
1864. 20. v. Zehender, W., Historische Notiz zur Lehre vom Glaukom. v. Graefe's Arch. f. Ophth. X, 1. S. 152.
1865. 21. Aubert, H., Physiologie der Netzhaut. Breslau.
1867. 22. Förster, R., Über Gesichtsfeldmessungen. Bericht über den ophth. Kongr. in Paris. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 293.
23. de Wecker, Ein neuer Gesichtsfeldmesser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 275.
24. Giraud-Teulon, Instrument zur Messung der Sehnervenpapille. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 297.
1868. 25. Heymann, F. M., Demonstration eines Instrumentes zur Gesichtsfeldmessung. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 115.
26. Houdin, R., Compte rend. du congr. périod. internat. d'opht. Congr. de Paris. S. 70.
1869. 27. Förster, R., Das Perimeter. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 111.
28. Möser, C., Das Perimeter und seine Anwendung. Inaug.-Diss. Breslau.
29. Rupp, J. F., Über die Dauer der Nachempfindung auf den seitlichen Teilen der Netzhaut. Inaug.-Diss. Königsberg.
30. Woinow, M., Über das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XV, 2. S. 155.
1870. 31. Exner, S., Bemerkungen über intermittierende Netzhautreizungen. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. III. S. 214.
32. Uschakoff, Über die Größe des Gesichtsfeldes bei Augen verschiedener Refraktion. J. Müller's Arch. f. Anat., Physiol. u. wissenschaftl. Med. S. 454.
33. Woinow, M., Zur Farbenempfindung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 212.
1871. 34. Burchardt, M., Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Sehweite. Kassel.
35. Dobrowolsky, W., Über den Abstand der Fovea centralis von dem Centrum des blinden Fleckes in Augen von verschiedener Refraktion. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 437.
36. Landolt, E., Die direkte Entfernung zwischen Macula lutea und Nervus opticus. Med. Centralbl. S. 45.
36a. Landolt, E., La distanza tra la macula lutea ed il centro della papilla. Ann. di Ottalm. I.
37. Landolt, E., Il perimetro e la sua applicazione. Ann. di Ottalm. I, 1.
38. Lemansky, Über die Grenzen der Empfindlichkeit für Spektralfarben. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XVII, 1. S. 1.
39. Nagel, A., Die Behandlung der Amaurosen und Amblyopieen mit Strychnin. Tübingen.
40. Reich, M., Material zur Bestimmung der Gesichtsfeldgrenzen und der dynamischen Verhältnisse der Musculi recti externi und interni in Augen mit verschiedener Refraktion. Inaug.-Diss. Petersburg.
1872. 41. Carter, B., Ein neues Perimeter. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 282.
42. Dobrowolsky, W., Zur Lehre von der Größe des Gesichtsfeldes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 159.
43. Rählmann, E., Über Farbenempfindungen in den peripherischen Netzhautpartieen in Bezug auf normale und pathologische Brechungszustände. Inaug.-Diss. Halle.
44. Scherk, Ein neuer Apparat zur Messung des Gesichtsfeldes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 151.
1873. 45. Cohn, H., Erfahrungen über die Wirkung des Strychnins auf amblyopische und gesunde Augen. Wiener med. Wochenschr. No. 42, 43, 44 u. 47.

1873. 46. Dor, H., Beiträge zur Elektrotherapie der Augenkrankheiten. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XIX, 3. S. 320.
47. v. Hippel, A., Über die Wirkung des Strychnins auf das normale und kranke Auge. Berlin.
48. Landolt, E., Farbenperception der Netzhautperipherie. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 376.
49. Peters, V., Über die Wirkung des Strychnins auf amblyopische und gesunde Augen. Inaug.-Diss. Breslau.
50. Schweigger, C., Demonstration eines neuen Perimeters. Berliner klin. Wochenschr. S. 261.
1874. 51. Krükow, Objektive Farbenempfindungen auf den peripherischen Teilen der Netzhaut. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XX, 1. S. 255.
52. Rählmann, E., Über Verhältnisse der Farbenempfindung bei indirektem und direktem Sehen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XX, 1. S. 15.
53. Rählmann, E., Über Schwellenwerte der verschiedenen Spektralfarben an verschiedenen Stellen der Netzhaut. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XX, 1. S. 232.
54. Schenkl, A., Ein Beitrag zur Sehfeldbestimmung. Prager Vierteljahrsschrift. No. 123. S. 77.
55. Schön, W., Die Lehre vom Gesichtsfeld. Berlin.
56. Schröter, P., Zur Gesichtsfeldmessung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 39.
57. Snellen, H., und Landolt, E., Perioptometrie. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl. III, 1. Leipzig.
1875. 58. Badal, Note sur la mesure et la représentation graphique du champ visuel à l'aide du périmètre portatif et du schémographe. Ann. d'Ocul. LXXIV. S. 239.
59. Hirschberg, J., Zur Gesichtsfeldmessung. Arch. f. Augenheilk. IV. S. 268.
60. Klug, F., Über Farbenempfindung beim indirekten Sehen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXI, 1. S. 251.
61. Pauli, F., Beiträge zur Lehre vom Gesichtsfelde. München.
1876. 62. Dobrowolsky, W., Über die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität der Farben (Farbensinn) im Centrum und an der Peripherie der Netzhaut. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XII. S. 441.
63. Dobrowolsky, W., und Gaine, A., Über die Lichtempfindlichkeit (Lichtsinn) an der Peripherie der Netzhaut. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XII. S. 432.
64. Förster, R., Gesichtsfeldmessung bei Anästhesie der Retina. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 162.
65. Mauthner, L., Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. Wien.
66. Schweigger, C., Hemiopie und Sehnervenleiden. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXII, 3. S. 276.
1877. 67. Charpentier, A., De la vision avec les diverses parties de la rétine. Arch. de Physiol. norm. et Path. IV. S. 894.
68. Charpentier, A., Nouvel instrument pour l'exploration de la sensibilité rétinienne. Gaz. méd. de Paris. S. 126.
69. Chodin, A., Über die Empfindlichkeit für Farben in der Peripherie der Netzhaut. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIII, 3. S. 177.
70. Donders, F. C., Die Grenzen des Gesichtsfeldes in Beziehung zu denen der Netzhaut. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIII, 2. S. 255.
71. Liévin, H., Über die Größe und Begrenzung des normalen Gesichtsfeldes. Inaug.-Diss. Königsberg.
72. v. Reuss, A., Untersuchungen über die optischen Konstanten ametropischer Augen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIII, 3. S. 183.
73. Stilling, J., Notiz über einen neuen Perimeter. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 105.

1878. 74. Hirschberg, J., Über graphische Darstellung der Netzhautfunktion Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) S. 324.
75. Landolt, E., Traité complet d'Ophtalmologie par de Wecker et Landolt. II. Périoptométrie.
1879. 76. Matthiessen, L., Über die geometrische Gestalt der theoretischen Retina des periskopischen schematischen Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXV, 4. S. 272.
77. Mauthner, L., Die Funktionsprüfungen des Auges. Wiesbaden.
78. Mauthner, L., Die Lehre vom Glaukom. Wiesbaden.
79. Schadow, G., Die Lichtempfindlichkeit der peripheren Netzhautteile im Verhältnis zu deren Raum und Farbensinn. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XIX. S. 439.
80. Schneller, Zur Lehre von der Ernährung der Netzhaut. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXV, 1. S. 1.
81. Schweigger, C., Notiz über die mediane Gesichtsfeldgrenze. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXV, 1. S. 254.
82. Treitel, Th., Über den Wert der Gesichtsfeldmessung mit Pigmenten für die Auffassung der Krankheiten des nervösen Sehapparates. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXV, 3. S. 1.
1880. 83. Hirschberg, J., Zur Gesichtsfeldmessung. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. März.
84. Meyer, Ed., Traité pratique des maladies des yeux. Paris.
85. Pedrazzoli, Nuovo perimetro. Ann. di Ottalm. XVII. S. 217.
86. Schneller, Eine praktische Methode, Sehschärfe und Gesichtsfeld bei herabgesetztem Licht zu prüfen. Tagebl. d. Vers. deutscher Naturf. u. Ärzte in Danzig. S. 253.
1881. 87. Ole B. Bull, Studien über Lichtsinn und Farbensinn. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVII, 1. S. 54.
88. Butz, R., Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen der physiologischen Funktionen der Peripherie der Netzhaut. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) S. 441.
89. Charpentier, A., Remarques sur la perception différentielle de l'oeil. Arch. d'Opht. I. S. 152.
90. Critchett, A., Chart for measuring the field of vision. Brit. med. Journ. S. 9.
91. Uhthoff, W., Notiz zur Gesichtsfeldmessung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 404.
1882. 92. Blix, M., Ein selbstregistrierendes Perimeter. Zeitschr. f. Instrumentenk. April.
93. Emmert, E., Die Größe des Gesichtsfeldes in Beziehung zur Akkommodation. Arch. f. Augenheilk. XI. S. 303.
94. Mc. Hardy, Macd., A new selfregistering perimeter. Ophth. Rev. March.
95. Stevens, W. L. C., Description of a registering perimeter. Transact. of the internat. med. Congr. 7. Sess. London. 1881. III. S. 123.
1883. 96. Butz, R., Untersuchungen über die physiologischen Funktionen der Peripherie der Netzhaut. Inaug.-Diss. Breslau.
97. Charpentier, A., Perception des couleurs à la périphérie de la rétine. Arch. d'Opht. III. S. 12.
98. Emerson, J. B., A new instrument for testing the field of vision. Med. Rev. New York. XXIII. S. 251.
99. Förster, R., Das Kartennetz zur Eintragung des Gesichtsfeldes. Bericht über die 21. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 131.
100. Hilbert, R., Die Darstellung der Gesichtsfeldgrenzen. Arch. f. Augenheilk. XII. S. 436.
101. Kazaurow, Über den Einfluss der Akkommodation auf die Veränderung der Grenzen des Gesichtsfeldes. Wratsch. No. 2.

1883. 102. Priestley Smith, A mode of illuminating the perimeter. Ophth. Rev. II. No. 21.
103. Priestley Smith, A new registering perimeter. Transact. of the Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. 1882—1883. III. S. 294.
104. Stöber, Du champ visuel simple ou achromatique et de ses anomalies. Arch. d'Opht. III.
1884. 105. Albertotti, J., Ein autometrisches, selbstregistrierendes Perimeter. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 465.
106. du Bois-Reymond, Cl., Ein Perimeter. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 283.
107. Gazepy, Campimètre portatif. Rec. d'Opht. S. 455.
108. Hilbert, R., Ortsbestimmungen derjenigen Zone der Retina, in welcher lichtschwache Objekte am deutlichsten wahrgenommen werden. Fortschritte d. Med. No. 24. S. 796.
109. Maklakoff, Le périmètre de précision. Rec. d'Opht. Févr.
110. Mayerhausen, G., Ein neues selbstregistrierendes Perimeter. Arch. f. Augenheilk. XIII. S. 207.
1885. 111. Charpentier, A., Recherches sur la perception différentielle successive. Arch. d'Opht. V. S. 1.
112. Dyer, E., A new perimeter. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 686.
113. Galezowsky, Périmètre portatif. Arch. d'Opht. V. S. 181.
114. de Grandmont, G., De la nécessité d'une numération commune en périoptométrie. Rec. d'Opht. Mars.
115. Mayerhausen, G., Verbesserungen an meinem selbstregistrierenden Perimeter. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 306.
116. Mello, Note sur un nouvel instrument destiné à la mensuration du champ visuel et la diplopie. Arch. d'Opht. V. S. 276.
117. Schiötz, Hj., Ein selbstregistrierendes Perimeter. Arch. f. Augenheilk. XVI. S. 13.
118. Schleich, G., Untersuchungen über die Größe des blinden Fleckes und seine räumlichen Beziehungen zum Fixationspunkte. Mitteil. a. d. ophth. Klinik in Tübingen. II, 2. S. 181.
119. Wolffberg, L., Über die Prüfung des Lichtsinnes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXI, 1. S. 23.
1886. 120. Dobrowolsky, W., Über die Empfindlichkeit des normalen Auges gegen Farbentöne auf der Peripherie der Netzhaut. v. Graefe's Arch f. Ophth. XXXII, 1. S. 9.
121. Nieden, A., Demonstration eines Perimeterschemas. Bericht über d. 18. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 100.
122. Reid, Th., Perimeter. The ophth. Rev.
1887. 123. Charpentier, A., Nouveaux faits sur la sensibilité lumineuse. Arch. d'Opht. VII. S. 13.
124. Müller-Lyer, F. C., Experimentelle Untersuchungen zur Amblyopiefrage. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) S. 400.
125. Treitel, Th., Über das Verhalten der normalen Adaptation. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIII, 3. S. 73.
1888. 126. Fick, E., Studien über Licht- und Farbenempfindung. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 441.
127. de Grandmont, G., Périoptométrie et chromatopsie; périmètre et chromatoptomètre. Arch. d'Opht. VIII. S. 208.
128. Ozoulay, L., Campimètre de poche. Progr. méd. XLVI. S. 428.
129. Pedrazzoli, Nuovo perimetro. Ann. di Ottalm. XVII. S. 217.
130. Schweigger, C., Ein handliches Perimeter. Arch. f. Augenheilk. XIX. S. 469.
131. Segal, S., Über die Lichtempfindlichkeit der Retina und eine einfache Methode zur Bestimmung derselben. Ruskaja med. No. 1 u. 2.

1889. 132. Bjerrum, J., Über Untersuchung des Gesichtsfeldes. Med. selsk. forhandl. S. 219.
133. Groenouw, A., Wo liegt die vordere Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Augenhintergrundes? v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXV, 3. S. 29.
134. Hess, C., Über den Farbensinn bei indirektem Sehen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXV, 4. S. 1 u. Bericht über die Verh. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 24.
135. Kirschmann, A., Über die Helligkeitsempfindung im indirekten Sehen. Wundt, Philos. Studien. V. S. 447.
136. Treitel, Th., Über den Lichtsinn der Netzhautperipherie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXV, 1. S. 50.
1890. 137. Basevi, V., Über die direkte Entfernung der negativen physiologischen Skotome von dem Fixierpunkte und dem Mariotte'schen Fleck. Arch. f. Augenheilk. XXII. S. 1.
138. Bjerrum, J., Ein Zusatz zur gewöhnlichen Gesichtsfelduntersuchung und über das Gesichtsfeld bei Glaukom. Verh. d. 10. internat. med. Kongr. zu Berlin. IV, 2. S. 66.
139. Hirschberg, J., Geschichtliche Bemerkung zur Gesichtsfeldmessung. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 350.
140. Jocqs, Modification dans l'emploi du périmètre de Foerster. Ann. d'Ocul. CIII. S. 250.
141. de Lapersonne, Un nouveau périmètre pratique. Ann. d'Ocul. CIII. S. 29.
1891. 142. Braunschweig, P., Eine neue Form des Perimeters. Zeitschr. f. Instrumentenk. S. 58.
143. Gurfinkel, Apparat zur Untersuchung des Gesichtsfeldes. Charkower med. Ges. I.
1892. 144. Guitterez-Ponce, Une scotomètre. Compt. rend. de la soc. d'opht. de Paris. Mars.
145. Hegg, E., Zur Farbenperimetrie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 3. S. 145.
146. Pitou, Un nouveau campimètre. Ann. d'Ocul. CVIII. S. 37.
147. Schmidt-Rimpler, H., Zur Simulation konzentrischer Gesichtsfeldeinengungen mit Berücksichtigung der traumatischen Neurosen. Deutsche med. Wochenschr. No. 24.
148. Wilbrand H., u. Sänger, Über Sehstörungen bei funktionellen Nervenleiden. Leipzig.
1893. 149. Antonelli, A., Il scotometro. Ann. di Ottalm. XXII. S. 19 u. Ann. d'Ocul. CX. S. 31.
150. Bagot, Nouveau périmètre de poche. Ann. d'Ocul. CX. S. 100.
151. Ole B. Bull, Sur la périmétrie du moyen de pigments colorés. Ann. d'Ocul. CX. S. 169.
152. Giles, T. E., A new perimeter. Arch. of Ophth. XXII. S. 28.
153. Groenouw, A., Über die Sehschärfe der Netzhautperipherie und eine neue Untersuchungsmethode derselben. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 85 und Habilitationsschrift. Breslau.
154. Haab, O., Die wichtigsten Störungen des Gesichtsfeldes. Breslau.
155. Katz, Apparat zur numerischen Bestimmung der centralen und peripheren Lichtempfindlichkeit des Auges (Lichtsinn-Perimeter). Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 73.
1894. 156. Axenfeld, Th., Eine einfache Methode, Hemianopsie zu konstatieren. Neurol. Centralbl. XIII. S. 437.
157. Ole B. Bull, Sur la périmétrie au moyen du pigments colorés. Ann. d'Ocul. CXI. S. 284.
158. Drott, A., Die Außengrenzen des Gesichtsfeldes für weiße und farbige Objekte beim normalen Auge. Inaug.-Diss. Breslau.

1894. 159. Groenouw, A., Beiträge zur Kenntnis der konzentrischen Gesichtsfeldeinengung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XL, 2. S. 172.
160. Holden, W. A., On tests of the light sens of the periphery of the retina for diagnostic purposes. Arch. of Ophth. XXIII. S. 40.
161. Peters, A., Über das Vorkommen und die Bedeutung der sogenannten Verschiebungstypen des Gesichtsfeldes. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. V. S. 302.
162. Simon, R., Über die Entstehung der sogenannten Ermüdungseinschränkungen des Gesichtsfeldes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XL, 4. S. 276.
163. Wertheim, Th., Über die indirekte Sehschärfe. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. VII. S. 172.
164. Wilson, F. M., A portable perimeter with its apology for existence. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 224.
1895. 165. Ole B. Bull, Perimetrie. Bonn.
166. Epstein, S., Über ein neues Perimeter. Zeitschr. f. Instrumentenk. 15. Jahrg. S. 400.
167. Groenouw, A., Über die beste Form der Gesichtsfeldschemata. Arch. f. Augenheilk. XXXI. Ergänzungsheft. S. 75.
168. Senn, A., Beiträge zu den Funktionsprüfungen der Netzhautperipherie. — Lichtsinnperimetrie. Mitteil. a. Kliniken u. med. Instituten der Schweiz. Basel u. Leipzig u. Inaug.-Diss. Bern.
169. Siemsen, Über konzentrische Gesichtsfeldeinengung bezw. den Verschiebungstypus unter besonderer Berücksichtigung der Unfallverletzten. Inaug.-Diss. Berlin.
1896. 170. Ahlström, G., Sur la perception lumineuse à la périphérie du champ visuel. Ann. d'Ocul. CXV.
171. Baas, K., Das Gesichtsfeld. Stuttgart.
172. Guillery, H., Vergleichende Untersuchungen über Raum-, Licht- und Farbensinn im Centrum und der Peripherie der Netzhaut. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XII. S. 243.
173. v. Helmholtz, H., Physiologische Optik. 2. Aufl. Hamburg u. Leipzig.
174. Katz, Quelques mots sur la perception lumineuse périphérique de l'oeil. Arch. d'Opht. XVI. S. 694.
175. Otto, F., Beobachtungen über hochgradige Kurzsichtigkeit und ihre operative Behandlung. (Forts.) v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIII, 3. S. 543.
176. Pertz, A., Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerte der Lichtreize. Inaug.-Diss. Freiburg i. B.
177. Pietsch, Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes für weiße und farbige Objekte. Inaug.-Diss. Breslau.
178. Polignani, E., Il perimetro fotoelettrico e le sue applicazioni in ottalmiatria. Napoli.
179. Silberkuhl, Untersuchungen über die physiologische Pupillenweite. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLII, 3. S. 179.
180. Wilbrand, H., Die Erholungsausdehnung des Gesichtsfeldes unter normalen und pathologischen Bedingungen. Wiesbaden.
181. Willets, The prismatic perimeter. Ann. of Ophth. and Otol. July.
1897. 182. Gelpke, Th., u. Bihler, W., Die operative Behandlung der myopischen Schwachsichtigkeit. Beiträge z. Augenheilk. Heft 28.
183. Guillery, H., Zur Physiologie des Netzhautcentrums. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. LXVI. S. 401.
184. Guillery, H., Über die Empfindungskreise der Netzhaut. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. LXVIII. S. 120.
185. Guillery, H., Weitere Untersuchungen über den Lichtsinn. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XIII. S. 187.
186. Helmbold, Ein Perimeter für den praktischen Arzt. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 435.

1897. 187. v. Kries, J., Über die absolute Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautteile im dunkeladaptierten Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XV. S. 327.

188. Truc, Nouveau scotomètre central. Ann. d'Ocul. CXVIII. S. 285.

1898. 189. Ascher, J., Ein transparentes Kugelperimeter aus Celluloid für den Handgebrauch. Ophth. Klinik. 2. Jahrg. No. 5 u. 12.

190. Ballaban, Th., Cyclochrom. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 312.

191. Bloom u. Garten, Vergleichende Untersuchungen der Sehschärfe des hell- und des dunkeladaptierten Auges. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. LXXII. S. 372.

192. Gagzow, R., Einige Verbesserungen am Perimeter von Helmbold. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 184.

193. Guillery, H., Akkommodation und Gesichtsfeld. Arch. f. Augenheilk. XXXVI. S. 272.

194. Michel, A., Modification et simplification du Campimètre. Mode d'emploi chez les gens suspects de dissimulation. Conférence internat. de services sanit. et d'Hygiène. Bruxelles.

195. Weiss, L., Über das Gesichtsfeld der Kurzsichtigen. Leipzig.

1899. 196. Neuschüler, Ein Perimeter für das Dunkelzimmer. Sitzungsbericht der Berliner ophth. Ges. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 240.

197. Sulzer, De la périmétrie des couleurs. Verh. d. 9. internat. ophth. Kongr. zu Utrecht.

198. Williams, A modified perimeter. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. XXXI. S. 567.

1900. 199. Singer, H., Brucin und seine Einwirkung auf das normale Auge. v. Graefe's Arch. f. Ophth. L. S. 665.

1901. 200. Schlösser, C., Die für die Praxis beste Art der Gesichtsfelduntersuchung, ihre hauptsächlichsten Resultate und Aufgaben. Samml. zwangl. Abhandl. a. d. Gebiete d. Augenheilk. Herausgegeben v. Vossius. III. Heft 8.

201. v. Zehender, W., Helmbold's Perimeter nebst einigen Abänderungsvorschlägen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. LII. S. 384.

1902. 202. Hummelsheim, Ed., Die Bedeutung der Objektgröße für die Ausdehnung der Gesichtsfeldgrenzen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 372.

203. v. Reuss, A., Das Gesichtsfeld bei funktionellen Nervenleiden. Leipzig und Wien.

204. Waldeck, E., Über das Abhängigkeitsverhältnis der Gesichtsfeldgrenzen von der Objektgröße. Inaug.-Diss. Bonn.

IX. Simulation von Schwachsichtigkeit und Blindheit.

Von

K. Wick,

Oberstabsarzt.

Mit Fig. 200—215.

§ 212. Bei der Prüfung der Sehleistung hat man zuweilen damit zu rechnen, dass die diesbezüglichen Angaben der Untersuchten nicht von vornherein als glaubwürdig anzusehen sind.

Selbstverständlich darf der Verdacht, dass eine Unwahrheit der Angaben, also eine Simulation oder Aggravation vorliegt, nur dann gefasst werden, wenn trotz sorgfältiger Untersuchung mit den objektiven und den sonstigen üblichen Untersuchungsmethoden und unter Berücksichtigung der Anamnese eine hinreichende Erklärung für die Herabsetzung der Sehleistung nicht gefunden werden kann.

Die in Betracht kommenden Simulationen lassen sich am besten in folgende Gruppen einteilen:

I. Simulation von Sehschwäche eines oder beider Augen, jedoch nur bis zu dem Grade, dass noch das Erkennen gewöhnlicher Sehproben, wenn auch nur der größeren, zugegeben wird.

II. Simulation von Blindheit oder hochgradiger Schwachsichtigkeit eines Auges.

III. Simulation von völliger Blindheit oder hochgradiger Schwachsichtigkeit auf beiden Augen.

Unter Simulation ist dabei überall entsprechende Aggravation einer in geringerem Grade wirklich vorhandenen Sehschwäche mit einbegriffen.

I. Simulation von Sehschwäche eines oder beider Augen, jedoch nur bis zu dem Grade, dass noch das Erkennen gewöhnlicher Sehproben, wenn auch nur der größeren, zugegeben wird.

§ 213. 1. Ein sehr einfaches Mittel, welches gewöhnlich sehr schnell zunächst die etwaige mala voluntas des Untersuchten erkennen, dann aber auch meist — gewissermaßen gegen seinen Willen — seine wirkliche Sehleistung feststellen lässt, ist das Nachstehende:

Man stellt sich eine Anzahl weißer Pappquadrate von etwa 10 cm Seitenlänge her, deren jedes in seiner Mitte mit einem Haken nach Snellen (**E**) von verschiedener Leseweite (für 50, 30, 20, 15, 10 und 6 m) versehen ist. Dem Untersuchten, der bisher z. B. eine Sehleistung von $^6/_{30}$ zugegeben hat, wird zunächst das Quadrat mit **E** für 30 m Leseweite in 6 m

Entfernung, und zwar mit der Öffnung des Hakens entweder nach oben oder nach unten, oder nach rechts oder nach links vorgehalten. Er wird im allgemeinen der zugegebenen Sehleistung entsprechend stets richtig angeben, nach welcher Seite sich der Haken öffnet.

Nunmehr wird in derselben Entfernung das Quadrat mit dem Haken für 20 m gezeigt. Will der Geprüfte diesen Haken nicht mehr erkennen, so fordert man ihn auf, wenigstens ratend anzugeben, nach welcher Seite sich der Haken öffne, und lässt ihn dies unter jedesmaliger anderer Stellung des Hakens (nach einer der vier Hauptrichtungen) des öfteren wiederholen. Anfangs sträubt sich der Untersuchte zuweilen etwas gegen diese Prüfung; wenn man ihm jedoch etwas energisch zuredet, er könne doch wenigstens ratend irgend welche Angaben machen, er brauche ja nur »nach oben«, »nach unten«, »nach rechts« oder »nach links« zu sagen, so entschließt er sich meist alsbald zu entsprechenden Äußerungen und verfällt als Simulant dabei außerordentlich häufig in den Fehler, absichtlich stets falsche Angaben zu machen. Dadurch aber verrät er sich sofort. Nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung müsste er selbst ratend unter vier verschiedenen Malen durchschnittlich einmal richtig raten. Macht er aber 25—30 mal hintereinander verkehrte Angaben, so kann dies nur bewussterweise geschehen und man kann sicher sein, dass er die Haken und ihre Stellung stets richtig erkannt hat.

Man geht nunmehr zu immer kleineren Haken über. Solange die Angaben des Untersuchten andauernd unrichtig bleiben, weiß man, dass er in Wahrheit sich über die wirkliche Stellung der Haken stets klar ist, und ist demgemäß in der Lage, wider seinen Willen seine Sehleistung festzustellen.

Zweckmäßig ist es noch bei dieser Art der Prüfung, den Untersuchten neben seiner mündlichen Angabe noch stets nach der Richtung zeigen zu lassen, nach welcher seiner Ansicht nach die Haken sich öffnen, weil sonst bezüglich »rechts« und »links« zuweilen Verwechselungen vorkommen (126).

In gleicher Weise lassen sich natürlich die überhaupt sehr zweckmäßigen Landolt'schen Sehproben verwenden.

2. Neben dem eben geschilderten Verfahren bedient man sich mit Nutzen der wiederholten Prüfung des Sehvermögens mit verschiedenen Leseproben und in verschiedenen Entfernungen.

Man hält z. B. dem zu Untersuchenden zunächst Leseproben in nächster Nähe vor, veranlasst ihn, die kleinste Schrift, die er noch wahrnehmen kann, zu lesen und so weit wie möglich von sich abzuhalten. Dann geht man allmählich unter Vorzeigen immer größerer Sehproben weiter zurück. Dabei ergiebt sich oft ein weit besseres Sehvermögen als ursprünglich angegeben war. Dasselbe ist häufig der Fall, wenn man zunächst auf möglichst weite Entfernung, am besten im Freien, ganz große Sehproben lesen lässt

und sich dann für die nächst kleineren Proben dem Untersuchten immer nur möglichst wenig nähert (71).

Im übrigen ist es notwendig, eine Anzahl der gebräuchlichen Sehproben in verschiedener Form zur Verfügung zu haben. Bei abwechselnder Benutzung derselben in verschiedenen Entfernungen verwickelt sich der Simulant meist in Widersprüche und lässt sich allmählich zur Angabe seiner wirklichen Sehleistung bringen.

Einzelne der käuflichen Sehproben nehmen noch insbesondere auf Entlarvung von Simulanten Rücksicht, so speziell die neuerdings von Ammon (129) herausgegebenen, sowie die Kröger'schen (122), die von dem Lithographen Schwarz in Königsberg zu beziehen sind.

Wertvoll ist es ferner, zur Prüfung der Sehleistung eine Anzahl von Buchstaben zu benutzen, die einzeln auf kleine Pappscheiben geklebt sind und auch einzeln vorgezeigt werden, da der Untersuchte auf diese Weise außer stande gesetzt wird, sich durch gleichzeitigen Vergleich der Buchstaben zu orientieren, wie weit er, ohne aus der Rolle zu fallen, mit seinen Angaben gehen kann. Um das Vorzeigen einzelner Buchstaben in bequemer Weise zu ermöglichen, sind auch mehrfach (Becker 81, Carl 83, Symens 128 und Mayeda 131) kleine diesbezügliche Apparate konstruiert, bei denen die auf einer Drehscheibe befindlichen Buchstaben oder Zeichen immer nur einzeln oder zu zweien in einem Ausschnitt erscheinen, der in einer zweiten vor der Drehscheibe befindlichen feststehenden Wand u. s. w. angebracht ist.

Des weiteren kommt noch die Anwendung von Optometern in Frage, von denen sich für unseren Zweck besonders das Optometer von Burgl (36) eignet.

3. Peltzer (38), Barthélémy (97) und Helmbold (113) haben zur Untersuchung von Simulanten die Benutzung eines Spiegels in Vorschlag gebracht, dessen Anwendung in der Weise am zweckmäßigsten geschieht, dass gegenüber den Sehproben in einem hellen Zimmer ein größerer Spiegel aufgehängt und der Prüfling zunächst so vor die Sehproben geführt wird, dass er den Spiegel im Rücken hat und seine (des Prüflings) Entfernung von den Sehproben doppelt so groß ist, als diejenige zwischen ihm und dem Spiegel. Nachdem er die Buchstaben der Sehprobentafel bis zu einer gewissen Reihe gelesen, wird er umgekehrt und gefragt, ob er vielleicht im Spiegel etwas mehr lesen könne. Selten wird sich ein Simulant sofort darüber klar werden, dass die Buchstaben jetzt die doppelte Entfernung von ihm haben, er wird vielleicht nur dieselbe Reihe erkennen wollen, die er soeben gelesen hat, damit aber sofort eine wesentlich höhere Sehleistung zugeben. Natürlich dürfen bei den gewöhnlichen Sehprobentafeln nur solche Buchstaben gezeigt werden, die durch die Umdrehung im Spiegelbilde nicht verändert werden, wie A, H u. s. w. Den Ammon'schen

Sehproben sowie dem deutschen militärärztlichen Kalender sind neuerdings besondere Spiegelsehproben beigegeben.

4. Auch durch Benutzung eines Opernglases, dessen vergrößernde Wirkung der Untersucher genau kennt, kann man einen Spiegelfechter gelegentlich zu Falle bringen. Der wirklich Schwachsichtige wird nur eine genau entsprechende Verbesserung seiner Sehleistung zugeben, während der Simulant mit dem Fernglas eventuell zu wesentlich besseren Sehleistungen, jedenfalls leicht zu widersprechenden Angaben gelangt.

5. Kommt es zunächst nur darauf an, die Zuverlässigkeit der Angaben überhaupt zu prüfen, so wird man sich noch immer des Verfahrens von Schmidt-Rimpler (18, 89) mit Nutzen bedienen, das dahin geht, das Gesichtsfeld des Untersuchten in verschiedenen Entfernungen an einer schwarzen Wandtafel aufzunehmen, da Simulanten häufig in den sie entlarvenden Fehler verfallen, dass sie glauben, bei größerer Entfernung von der Tafel das Gesichtsfeld kleiner angeben zu müssen als bei geringerer Entfernung. In gleichem Sinne ist auch nach Groenouw (99) eventuell die Prüfung des Lichtsinnes mittelst des Förster'schen Photometers von Wert, indem Simulanten bei dieser Prüfung zuweilen eine so hochgradige Beeinträchtigung ihrer Sehleistung zur Schau tragen, dass dieselbe mit ihrem sonstigen Gebahren bei herabgesetzter Beleuchtung nicht in Einklang zu bringen ist.

II. Simulation von Blindheit oder hochgradiger Schwachsichtigkeit eines Auges.

A. Objektive Untersuchungsmethoden.

§ 214. Dass, bevor der Verdacht einer Simulation überhaupt ins Auge gefasst wird, alle objektiven Untersuchungsmethoden erschöpft sein müssen, ist bereits zu Anfang erwähnt. Einige objektive Untersuchungsmethoden sind jedoch für die vorliegende Gruppe von Simulation von besonderem Werte, bezw. speziell für diese berechnet. Sie seien daher hier auch aufgeführt.

1. Prüfung der binokularen Fixation. Die Verwertung dieser Prüfung lässt sich kurz in folgende Sätze zusammenfassen:

a) Lässt man einen Finger oder sonstigen Gegenstand, eventuell eine Flamme, fixieren und verdeckt dabei das angeblich schwachsichtige Auge mit der Hand oder irgend einem anderen als Schirm dienenden Gegenstande, so wird dieses Auge bei hinreichender Annäherung des zu fixierenden Objektes nach außen abweichen. Stellt sich das Auge nach Fortnahme der Hand u. s. w. sofort wieder auf den vorgehaltenen Gegenstand ein, so kann dasselbe nicht vollständig blind sein. Hochgradige Schwachsichtigkeit ist allerdings nicht ausgeschlossen.

b) Hält man ein Prisma ($6-18^{\circ}$)[1]) mit der Basis nach innen oder nach außen vor das angeblich blinde Auge, lässt nun irgend einen Gegenstand, am besten Sehproben oder auch eine Flamme, sowohl in der Ferne als auch in der Nähe fixieren, und sucht dann das angeblich blinde Auge die Prismenwirkung durch Fusionsbewegungen auszugleichen, um sofort nach Fortnahme des Prismas wieder in die normale Blickrichtung überzugehen, so kann gleichfalls völlige Erblindung nicht vorliegen. Das betreffende Auge kann jedenfalls den vorgehaltenen Gegenstand, wenn auch vielleicht nur undeutlich, wahrnehmen (A. Graefe und v. Welz 5, 6, 7).

c) Prismen, vor das als gut angegebene Auge gebracht, veranlassen die gewöhnliche Drehung desselben nach der Richtung ihrer Kante. Macht das angeblich schlechte Auge hierbei stets eine associierte Mitbewegung, während andererseits beide Augen, wenn das letztere mit einem Prisma bewaffnet wird, ihre Ruhigstellung völlig behaupten, zeigen sich mithin unter keinen Umständen Fusion anstrebende Bewegungen, so spricht dieses Verhalten sehr für Schwachsichtigkeit des betreffenden Auges, wenn auch der Grad derselben noch erheblich übertrieben sein kann (A. Graefe, Graefe-Saemisch, erste Auflage).

d) Treten bei Vorlegung von Prismen vor das angeblich nicht sehende Auge nicht die charakteristischen kompensatorischen Bewegungen, jedoch unbestimmte hin- und herirrende Bewegungen auf, so ist die Behauptung völliger einseitiger Amaurose in hohem Grade verdächtig. Diese regellosen Bewegungen bekunden stets eine gewisse Verwirrung gegenüber einer mehr oder weniger bestimmt auftretenden Diplopie, die wohl bei einseitiger Amblyopie, nicht aber bei Amaurose auftreten kann (A. Graefe, Graefe-Saemisch, erste Auflage).

Noch auf eine andere ihm mehrfach begegnete Erscheinung bei der Prismenprüfung, die nach seiner Ansicht zu Gunsten des Untersuchten spricht, weist Graefe in der ersten Auflage dieses Handbuches hin und giebt ein diesbezügliches Beispiel mit folgenden Worten: »Ich untersuchte einen Soldaten, welcher linkerseits von Kindheit her nur hell und dunkel unterscheiden zu können angab. Schielen sollte nie vorhanden gewesen sein, weitere diagnostische Anhaltspunkte fehlten. Alle Versuche, etwaige Simulation nachzuweisen, fielen durchaus zu Gunsten des Kranken aus, nur fiel in suspekter Weise auf, dass bei rechtsseitiger Fixation das linke Auge, wurde es mit der Hand bedeckt, eine kleine, krampfhafte Abduktionsbewegung machte, welche doch nicht eintrat, wenn beide Augen unter gleichen Umständen geöffnet waren. Konnte diese Erscheinung doch immer auf eine gewisse Beteiligung des linken Auges beim Sehakt hindeuten! Bei Anlegung der Prismen vor das rechte Auge entstanden stets die kompensatorischen Bewegungen dieses und die associierten Mitbewegungen des anderen, während bei variabelster Anlegung der verschiedensten Prismen in vertikaler oder in seitlicher Richtung vor das linke Auge immer nur dieselbe kleine abduzierende

1) Man muss verschiedene Prismen probieren.

Bewegung wie unter der bedeckenden Hand sich geltend machte, d. h. eine Bewegung, welche der Prismenwirkung in keiner Weise entsprach. Auch diese eigentümliche Erscheinung glaubte ich in Einklang mit den bereits gewonnenen Untersuchungsresultaten eher zu Gunsten der Angaben des Kranken verwerten zu können.«

2. Die Prüfung der Pupillenreaktion auf Lichteinfall. Die aus der Lichtreaktion der Pupillen oder deren Versagen für unseren Zweck zu gewinnenden Schlüsse lassen sich am kürzesten unter Benutzung des von Heddaeus geschaffenen Begriffes der Reflexempfindlichkeit wiedergeben. Bekanntlich versteht Heddaeus (54, 60—62, 72, 73) unter Reflexempfindlichkeit eines Auges die Fähigkeit desselben, einen Lichtreiz aufzunehmen und den Reflexcentren zuzuleiten. »Um die Reflexempfindlichkeit eines Auges festzustellen, ist es nicht nötig, dass die Pupille desselben Auges beweglich ist. Zum Nachweis der Reflexempfindlichkeit beider Augen genügt (ist aber auch erforderlich) die Beweglichkeit einer Pupille[1]): Ihre direkte Reaktion beweist, dass das gleichseitige Auge, ihre konsensuelle Reaktion beweist, dass das andere Auge die Fähigkeit besitzt, einen Lichtreiz aufzunehmen und den Reflexcentren zuzuleiten.« Ist die Reflexempfindlichkeit eines Auges völlig erloschen, so bezeichnet Heddaeus diesen Zustand als Reflextaubheit. Unter Benutzung dieser Nomenklatur haben folgende Sätze wohl allgemein anerkannte Gültigkeit:

a) Ist ein Auge völlig reflextaub, während das andere deutlich reflexempfindlich ist, so ist das reflextaube Auge meist völlig erblindet, zum mindesten aber in seiner Sehkraft ganz erheblich beeinträchtigt. Es sind nur wenige Fälle beschrieben, in denen unter solchen Umständen völlige einseitige Blindheit nicht bestand, jedenfalls war aber auch in diesen das Sehvermögen ganz beträchtlich herabgesetzt.

b) Zeigen beide Augen gute und völlig gleiche Reflexempfindlichkeit, so ist einseitige völlige Blindheit (einschließlich Erloschenseins jeder Lichtempfindung) in höchstem Grade unwahrscheinlich. — Ganz auszuschließen ist sie nicht, da anscheinend vereinzelte Fälle beobachtet sind, wo bei einseitiger völliger Blindheit dennoch normales Pupillenspiel beobachtet wurde.

c) Bei deutlicher Herabsetzung der Reflexempfindlichkeit eines Auges gegenüber dem anderen ist eine erhebliche Sehstörung des betreffenden Auges anzunehmen. Es kann dabei vollständige Amaurose bestehen.

Bei allen Prüfungen auf Lichtreaktion muss man sich selbstverständlich vor der Verwechselung mit der bei der Akkommodation eintretenden Reaktion hüten. Man hat also stets auf etwaige die Pupillenbewegung begleitende Konvergenz, sowie auch auf die kurze Pause, welche bei der Lichtreaktion stets zwischen dem Lichteinfall und dem Beginn der Reaktion verstreicht, zu achten (Heddaeus).

[1]) Es stört die Prüfung also nicht, wenn die Pupille eines Auges, sei es infolge von Atropin oder aus anderer Ursache, unbeweglich ist.

3. Zu den objektiven Untersuchungsmethoden ist auch der Vorschlag von **Berthold** (8) zu rechnen, dass man den Untersuchten aus einem Buche laut vorlesen lassen und ihm alsdann ein schwaches Prisma mit der Basis nach oben (so dass die Basis den Zeilen parallel steht) vor das angeblich blinde Auge halten soll. Für den auf beiden Augen sehtüchtigen Simulanten kommt es auf diese Weise leicht dazu, dass sich zwei übereinanderstehende Zeilen zu decken scheinen und dadurch das Lesen sehr erschwert oder unmöglich gemacht wird, zumal wenn man das Prisma andauernd um eine durch die Mitte desselben gehende, der Basis parallel laufende Achse hin und her dreht. Eine deutlich hierbei zu Tage tretende Erschwerung des Lesens würde zweifellos für Simulation sprechen, während ein ruhiges Weiterlesen allerdings nicht das Gegenteil beweist.

B. Subjektive Untersuchungsmethoden.

Die subjektiven Untersuchungsmethoden bezwecken, den Untersuchten gegen seinen Willen zur Angabe der Sehleistung seines angeblich blinden bezw. schwachsichtigen Auges zu bringen und beruhen alle darauf, dass der Prüfling in den Glauben versetzt wird, er sehe ihm vorgehaltene Prüfungsobjekte mit seinem gesunden Auge, während er sie thatsächlich nur mit dem angeblich schlechten Auge wahrnehmen kann. Die Zahl derartiger Verfahren ist eine sehr große. Unter 1—3 und 9 sind die nach meiner Meinung einfachsten und zweckmäßigsten aufgeführt.

1. Benutzung von Brillengläsern. Man setzt dem Untersuchten ein Brillengestell auf, das entsprechend seinem gesunden Auge ein starkes Konvexglas (von 15—20 Dioptrien), entsprechend dem angeblich blinden bezw. schwachsichtigen Auge ein planes bezw. ein seine etwaige (objektiv festgestellte) Refraktionsanomalie korrigierendes Glas trägt, und lässt ihn die in etwa 5 m Entfernung aufgehängten Sehproben lesen. Darauf, dass er durch ein ihm völlig durchsichtig erscheinendes Glas in der Ferne nichts sollte erkennen können, ist der Simulant nicht gefasst und giebt in dem Glauben, mit seinem gesunden Auge zu sehen, zumal wenn man ihm durch schnelle Prüfung keine Zeit zur Orientierung lässt, meist eine dementsprechende Sehleistung zu. Man bedeckt alsdann sein angeblich schlechtes Auge, fordert ihn auf weiter zu lesen, und überzeugt ihn hierdurch sofort selbst in schlagender Weise von seiner Entlarvung. So durchsichtig die Methode vielleicht erscheint, so gelingt es doch oft sehr schnell in dieser Weise, Simulanten zu überführen (20). Ebenso wie mit einem Konvexglas für die Ferne, kann man natürlich auch mit einem starken Konkavglas das gute Auge für die Nähe ausschalten.

Nach **Jackson** (118, 119) wird vor das »blinde« Auge ein Planglas oder das korrigierende Glas gesetzt, vor das gute Auge werden zwei sich ausgleichende starke Cylindergläser gebracht. Nachdem der Untersuchte

zunächst überzeugt ist, dass er durch diese beiden Gläser völlig gut sehen kann, wird unmerklich eines derselben um 90° gedreht. Das Auge wird dadurch gleichfalls in ähnlicher Weise wie beim SCHENKL'schen Verfahren vom Sehakte ausgeschlossen.

2. Verwendung eines Stereoskopes nebst entsprechenden Vorlagen. Die Verwendbarkeit des Stereoskopes für den vorliegenden Zweck beruht bekanntlich in erster Linie darauf, dass — obwohl durch dasselbe für jedes Auge einzeln nur die eine Hälfte einer entsprechenden Vorlage sichtbar ist — beim Hindurchsehen mit beiden Augen die beiden Hälften der Vorlage durch Übereinanderlagerung zu einem Bilde verschmolzen erscheinen, bei dem man im allgemeinen ohne Schließung eines Auges nicht erkennen kann, welchen Anteil jedes Auge für sich an demselben hat, so dass ein einseitige Blindheit Simulierender leicht auch diejenigen Sehproben zu erkennen angiebt, die auf der vor seinem »schlechten« Auge befindlichen Vorlagenhälfte angebracht sind. Will man eine möglichst innige Verschmelzung beider Bildhälften herbeiführen, so ist es zweckmäßig, dieselben außer den abweichenden Sehproben mit einigen gleichartigen, in die Augen springenden Figuren oder Zeichen zu versehen (s. Fig. 204, 207, 208, 209 und 215).

Geschieht dies nicht oder sind beide Vorlagehälften so ungleichartig, dass überhaupt eine Verschmelzung sich nicht gut vollziehen kann, dann tritt leicht diejenige Erscheinung ein, die man als Wettstreit der Sehfelder bezeichnet und die darin besteht, dass bald die eine, bald die andere Bildhälfte für das geistige Auge mehr in den Vordergrund gelangt. Auch hierbei ist der Untersuchte sich gleichfalls im allgemeinen nicht darüber klar, welches seiner Augen an dem jeweiligen Erkennen beteiligt ist. Zur Ausnutzung dieses Wettstreites der Sehfelder eignen sich insbesondere die der HELMHOLTZ'schen physiologischen Optik Tafel X entnommenen beiden Vorlagen Fig. 200 und 201. Die erste derselben besteht auf der einen Hälfte aus von links oben nach unten rechts verlaufenden blauen Linien, auf der anderen Hälfte aus senkrecht dazu gestellten roten Linien. Die zweite trägt auf der einen Hälfte ein dickes schwarzes Kreuz (in Form eines Ordenskreuzes) und auf der anderen Hälfte ein System sich kreuzender roter Linien. Es ist für einen Simulanten außerordentlich schwer, beim Betrachten dieser Vorlagen durch ein Stereoskop, besonders bei mehrfachem Umkehren derselben, stets diejenige Seite bei seinen Angaben auszuschalten, die seinem blinden Auge entspricht. Insbesondere drängt sich das schwarze Kreuz selbst einem etwas schwachsichtigen Auge mit einer gewissen Gewalt auf. In ähnlicher Weise wirken Fig. 202 und 203 als Vorlagen. Beim Lesen derselben durch ein Stereoskop tauchen vor den Augen des Lesenden unwillkürlich bald rechts bald links von der Mitte stehende Buchstaben u. s. w. auf, und dem entsprechend wird auch ein Simulant bald rechts bald links stehende Zeichen angeben.

Fig. 200.

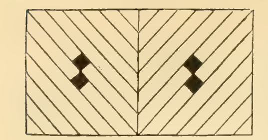


Fig. 201.

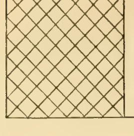



Fig. 202.

A E O	B D K
J U A	R C F
E A J	G F T

Fig. 203.

1 5 3 7	8 4 2 0
5 3 9 1	2 6 4 8
3 7 5 9	6 2 8 4

Fig. 204.

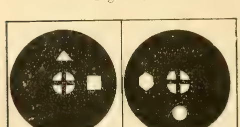


Fig. 205.

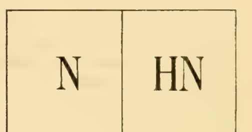


Fig. 206.

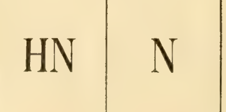


Fig. 207.



Die Vorlagen sind etwa doppelt so groß herzustellen.

Fig. 208.

Fig. 209.

Fig. 210.

Fig. 211.

Fig. 212.

Fig. 213.

Fig. 214.

Fig. 215.

Die Vorlagen sind etwa doppelt so groß herzustellen.

Etwaige Refraktionsunterschiede der Augen sind natürlich vor der Prüfung mit dem Stereoskop durch entsprechende Gläser auszugleichen. Ist ferner ein Auge etwas schwachsichtiger als das andere, so wird man auch diesen Unterschied, indem man entweder vor das gesunde Auge ein stärkeres Konvexglas, oder auch vor beide Augen verschieden dunkle, blaue oder rauchgraue Gläser bringt, nach Möglichkeit zu beseitigen suchen. Auch dadurch, dass man durch entsprechende Haltung des Stereoskopes die eine Tafelhälfte schlechter beleuchtet oder auch durch Gegenhauchen gegen das eine Prisma oder durch Bestreichen desselben mit Vaselin kann man annähernd gleiche oder für das schlechte Auge günstigere Verhältnisse herstellen.

Um die Verwertung des Stereoskopes bei der Prüfung auf Simulation haben sich insbesondere Rabl-Rückhardt (16, 25, 49), von dem auch vorwiegend die beigegebenen Vorlagefiguren herrühren, ferner Burchardt (98), Kuhnt und neuerdings A. Roth (130) verdient gemacht. Kuhnt hat sich an einem Stereoskop zwei Drehscheiben anbringen lassen, durch welche in sehr bequemer Weise vor die Prismen verschiedene Gläser (wie eben geschildert) gebracht werden können, die teils in die Drehscheiben fest eingelassen sind, teils sich leicht nach Belieben einsetzen lassen, und hat auch gelehrt, wie man die stereoskopische Untersuchung noch mit dem unter 5. aufgeführten Snellen'schen Vorschlage verbinden kann. A. Roth (130) hat mit seiner vor kurzem (1902) erschienenen Arbeit: Das Stereoskop und die Simulation einseitiger Sehstörungen, die frühere diesbezügliche Burchardt'sche Veröffentlichung noch weiter verbessert. Bei dem dieser Arbeit beigegebenen Stereoskop sind hinter den Prismen kleine Fächer angebracht, welche zur Aufnahme verschiedener Gläser (wie oben) dienen können, auch zeigt dasselbe sonst noch einige zweckmäßige Vorkehrungen. Außerdem sind der Arbeit acht sehr sinnreich erdachte Vorlagen beigefügt, so dass die ganze Zusammenstellung als besonders praktisch empfehlenswert ist.

3. Die Anwendung des Stereoskopes setzt im allgemeinen voraus, dass der Untersuchte mit beiden Augen gleichzeitig fixiert. Da aber einerseits schielende Simulanten dieser Anforderung nicht entsprechen und es andererseits auch einzelne Leute giebt, die ohne nachweisbare sonstige Störungen im stande sind, bei gleichzeitiger Inanspruchnahme beider Augen, dauernd von den Eindrücken, die das eine derselben empfängt, völlig abzusehen, so ist stets noch das Herter'sche (33, 34) Verfahren in Anwendung zu ziehen. Danach hat man mit Hilfe eines gewöhnlichen planen Augenspiegels in regelloser Folge aus etwa $^1/_2$—1 m Entfernung abwechselnd beide Augen zu beleuchten und den Untersuchten zur sofortigen Angabe des wahrgenommenen Lichtscheines anzuhalten. Wenn auch viele Menschen im allgemeinen in der Lage sind, zu erkennen, ob ihr rechtes oder ihr linkes Auge von einem Lichtschein getroffen wird, so ist doch kaum ein

Normalsichtiger im stande, bei schneller Handhabung des Verfahrens, wenn man stets auf sofortige Angaben dringt, sich andauernd bei wiederholter Prüfung mit absoluter Sicherheit vor Irrtum zu hüten. Ein einmaliges Fehlgreifen in seinen Antworten entlarvt ihn aber auch schon. Noch unsicherer wird der Untersuchte gemacht, wenn man ihm zugleich vor beide Augen ein Konvexglas setzt (123), oder auch ihn die Lider schließen lässt oder selbst mit einem Finger zudrückt (92).

Dadurch, dass man vor die Lichtquelle eine Pappscheibe mit einem kleinen Ausschnitte bringt, in welchen letzteren sich verschiedenfarbige mehr oder weniger matte Glasscheiben, oder auch Milchglasscheiben einstellen lassen, die mit je einem Buchstaben verschiedener Größe beklebt sind, kann man eventuell auch einen näheren Anhalt für die wirkliche Sehleistung des in Frage stehenden Auges gewinnen.

4. A. v. Graefe (3) empfahl, vor das gesunde Auge ein Prisma (von etwa 12—20°) zu halten, den Untersuchten alsdann zu fragen, ob er ein einfaches Licht nunmehr nicht doppelt sähe, und ihn ferner unter gleichzeitiger Drehung des Prismas über die Stellung der beiden Lichte zu einander Auskunft geben zu lassen. Ein zweites Licht kann dabei natürlich nur mit dem angeblich blinden Auge gesehen werden. Da Doppelbilder in richtiger Erkenntnis ihrer Entstehung geleugnet werden können, schlug Alfred Graefe (5, 88) vor, zunächst unter Verdeckung des blinden Auges dem anderen Auge ein Prisma von 12—18° mit der Basis nach oben so vorzuhalten, dass diese Basis in Höhe des Pupillargebietes steht, wodurch monokulare Doppelbilder entstehen und dem Untersuchten die Scheu vor der Zugabe der Doppelbilder genommen wird. Nach unauffälliger Freigabe des blinden Auges wird dann das Prisma um einige Millimeter nach oben verschoben, so dass unmerkbar die Bedingungen des Albrecht v. Graefeschen Verfahrens hergestellt werden, Doppelbilder also nur bei Sehkraft beider Augen wahrgenommen werden können. Zur bequemen Ausführung dieses Experimentes hat Baudry (117, 119) einen besonderen kleinen Apparat, das Baudry'sche Prisma, erfunden, durch welches das geschilderte Vorgehen außerordentlich erleichtert und vereinfacht wird.

5. Snellen (30) riet, vor das gesunde Auge ein farbiges Glas zu bringen und farbige Sehproben lesen zu lassen, die durch das betreffende Glas hindurch nicht sichtbar sind. In näherer Ausführung dieses Gedankens sind zahlreiche Spezialvorschläge (45, 48, 59, 64, 86, 90) gemacht, die sich hier jedoch nicht alle aufführen lassen. Erwähnt seien daher hier nur die neuerdings erschienenen v. Haselberg'schen Sehprobentafeln (127), sowie auch der bereits unter Gruppe I genannte Symens'sche Apparat (128), welche beide gleichfalls der vorliegenden Idee Rechnung tragen. Auch dem deutschen militärärztlichen Kalender ist eine kleine Tafel mit entsprechenden farbigen Buchstaben, Worten und Sätzen beigegeben.

6. Von Javal (s. Zehender u. Warlomont 6, 7) stammt der Vorschlag, den zu Untersuchenden aus einem Buche laut vorlesen zu lassen und alsdann zwischen Buch und Augen ein schmales Lineal oder dergleichen zu halten, durch das für jedes Auge ein Teil der Schrift verdeckt, das Lesen im Falle beiderseitigen ausreichenden Sehvermögens jedoch nicht verbindert wird. Auch diese Methode ist noch verschiedentlich weiter ausgebaut (10, 13, 29, 35).

7. C. Froehlich (105) lässt den »Simulanten« nach Korrektur einer etwaigen Refraktionsanomalie gleichfalls aus einem Buche laut vorlesen, führt ihn dann zur genaueren Untersuchung ins Dunkelzimmer und bringt ihm nunmehr bei der Untersuchung in unauffälliger Weise (dadurch, dass man einen Finger mit Atropin benetzt) etwas Atropin in das gesunde Auge. Erst nach eingetretener Wirkung des Mydriaticums wird der Untersuchte wieder ins Helle geführt und nochmals zum Lesen aus dem Buche veranlasst, worauf man ihm sofort durch Verdecken des angeblich blinden Auges demonstrieren kann, dass er mit dem gesunden Auge nicht weiter lesen kann, also mit dem »blinden« allein gelesen hat.

8. Endlich sei noch erwähnt, dass der Erfindungsgeist der Ärzte, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben, noch zahlreiche kleine Apparate hervorgebracht hat, die sich die Lösung derselben zur Aufgabe machen. Teils beruht deren Wirkung auf Anbringung von kleinen Spiegeln, teils auf Vorkehrungen, die eine Kreuzung der Blicklinien und dadurch eine Täuschung des Untersuchten hervorrufen, teils liegt ihnen der unter 6. genannte Javalsche Vorschlag zu Grunde. Auch mehrere dieser Grundideen sind in einem oder dem anderen Apparate vereinigt. Die hauptsächlichsten dieser Apparate sind die Spiegelapparate von Fles (4), Armaignac (31), Maréchal (37) und Bertin-Sans (50), sowie die Hemioskope und Pseudoskope von Prato (s. 114), Bertelé (41), André (42), Chauvel (51), Loiseau (s. 44), Marini (s. 69) und Barthélémy (70). Besonders hervorzuheben sind die Apparate von Chauvel und Barthélémy. Die ausführliche Beschreibung aller dieser Apparate sowie der übrigen hier nur angedeuteten Methoden befindet sich in meiner diesbezüglichen Monographie (125).

9. Recht nützlich kann es schließlich zuweilen noch sein, wenn man beobachtet, wie ein Untersuchter sich verhält, während sein gutes Auge verbunden ist. Zwecks genauer objektiver Untersuchung des »blinden« Auges wird zunächst das andere durch einen Verband geschützt. Nachdem das Auge dann längere Zeit eingehend untersucht ist, steht man zum Schluss schnell auf und fordert vorangehend den Untersuchten kurz auf, mitzukommen. Es kann sich sehr wohl gelegentlich ereignen, dass der Simulant im Moment nicht an den Verschluss seines guten Auges denkt und sich durch sein sicheres Mitgehen verrät.

III. Simulation von hochgradiger Schwachsichtigkeit auf beiden Augen.

§ 215. Unter vollständig Blinden sind hier diejenigen zu verstehen, bei denen auch der letzte Rest des Lichtempfindungsvermögens verloren gegangen ist, unter hochgradig Schwachsichtigen diejenigen, deren Sehvermögen sich zwischen dem Erkennen von Lichtschein und dem Zählen von Fingern bewegt. Untersuchte, die angeben, noch Finger zählen zu können, bilden bereits den Übergang zu den in Gruppe I besprochenen Fällen, da beim Erkennen von Fingern auch große Buchstaben, oder wenigstens große Punkt- und Strichproben auf die gleiche Entfernung erkannt werden müssen und dann bereits entsprechende Prüfungen aus Gruppe I in Kraft treten können. Beide hier in Frage stehenden Arten der Simulation sind auf die Dauer außerordentlich schwer durchzuführen[1], deshalb kann man schon von einer sorgfältigen Beobachtung im allgemeinen Aufschluss und auch baldige »Besserung des Sehvermögens« erwarten. Bei angeblich frischen Erblindungsfällen ist stets die Einleitung einer geeigneten Kur geboten. Im übrigen sind folgende Gesichtspunkte zu verwerten:

1. Sowohl bei völliger Erblindung, als auch bei hochgradiger, sich nur auf Lichtempfindung beschränkender Schwachsichtigkeit muss sich mangels anderer erklärender Umstände längstens nach sechsmonatigem Bestehen eine deutlich erkennbare Sehnervenatrophie etablieren (A. v. Graefe).

2. Bei angeblichem Mangel jeglicher Lichtempfindung und trotzdem vorhandener Reflexempfindlichkeit der Augen ist Simulation sehr wahrscheinlich. Bewiesen ist sie jedoch besonders deshalb nicht, weil es sich eventuell um einen Krankheitsprozess handeln kann, der, centralwärts vom Pupillencentrum gelegen, die Thätigkeit des letzteren unter Umständen in keiner Weise beeinträchtigt. Fehlen der Lichtreaktion bietet natürlich keinerlei Garantie für das wirkliche Vorhandensein von Blindheit, da das Ausbleiben der Reaktion teils durch lokale, teils durch centrale nervöse Störungen, teils durch Benutzung von Medikamenten (Atropin u. s. w.) bedingt sein kann.

3. Was die Prüfung der binokularen Fixation und der Blickrichtung anlangt, so empfiehlt Schmidt-Rimpler (12, 26), einen Finger des »Blinden« in die Hand zu nehmen, diesen Finger, indem man ihn zugleich lebhaft drückt, mehrfach hin- und herzuführen, dann an einer beliebigen Stelle unter nicht nachlassendem Drucke festzuhalten und nunmehr den »Blinden« anzuweisen, seine Augen auf diesen Finger zu richten. Auch ein völlig Blinder kann dieser Anforderung im allgemeinen ohne Schwierigkeit nachkommen. Simulanten glauben dagegen leicht, sich auf diese Weise zu verraten und lassen ihre Augen entweder völlig planlos hin und her irren oder

[1] Einzelne hartnäckige Fälle s. Litteraturverzeichnis 25, 46 und 112.

wenden sie auch wohl direkt der entgegengesetzten Seite zu. Allerdings kann die richtige Fixation auch infolge von Störungen im Muskelgleichgewicht unterbleiben, auch kann die Furcht, sonst für einen Simulanten gehalten zu werden, gelegentlich wohl einen thatsächlich Blinden veranlassen, wider sein besseres Können die Augen von der gegebenen Richtung abzukehren.

Burchardt (s. Rabl-Rückhardt 25) hat das Verfahren dahin modifiziert, dass er den Untersuchten auffordert, auf einen ihm vorgehaltenen eigenen Finger mit dem Zeigefinger der anderen Hand zu stoßen, was im allgemeinen gleichfalls von einem völlig Blinden gut ausgeführt werden kann, wenn nicht noch anderweitige Störungen bestehen.

Sowohl das Schmidt-Rimpler'sche als auch das Burchardt'sche Verfahren lässt sich mit der Benutzung eines stärkeren Prismas kombinieren, indem eines der Augen des Untersuchten mit einem solchen versehen und nunmehr auf etwaige der Prismenwirkung entsprechende Drehung beobachtet wird. Eine Beeinflussung des Auges durch das Prisma wäre natürlich nur bei einem gewissen Sehvermögen denkbar. Einfacher ist es noch, unter gleicher Verwendung eines Prismas, den Untersuchten nur aufzufordern, seine Augen geradeaus zu richten. Auch hierbei wäre natürlich eine etwaige korrespondierende Bewegung des mit dem Prisma bewaffneten Auges beweisend für ein wenn auch nur schwaches Erkennungsvermögen. Es empfiehlt sich, diese Prüfung sowohl mit beiderseits geöffneten Augen, als auch mit jedem Auge einzeln bei Verschluss des anderen vorzunehmen.

4. Von Nutzen kann es sein, mit fraglichen »Blinden« harmlose Schreck- und Überraschungsversuche, bestehend in plötzlichem schnellen Vorstoßen eines Fingers oder eines Instrumentes in die Gegend der Augen oder plötzlichem Vorhalten einer hellen Lampe (Acetylen u. s. w.) anzustellen und dabei ihr Verhalten zu beobachten, wenngleich natürlich auch Simulanten allen diesen Versuchen gegenüber unter Umständen völlige Ruhe bewahren können. Über den Rahmen des einfachen Schreckversuches etwas hinaus geht schon das mit einem Manne geübte Verfahren, der einen allmählich an seine Nasenspitze herangeführten Finger nicht wollte erkennen können. Der Arzt lud seinen Finger faradisch, worauf der Untersuchte schon vor der zweiten Berührung sorgsam auswich. Ähnlich gelang gelegentlich auf elektrischem Wege der Nachweis, dass ein angeblich Blinder sehr gut einen doppelten von einem einfachen Eisendraht unterscheiden konnte (123). Auch dadurch kann man einen Spiegelfechter gelegentlich überraschen, dass man ihn zunächst bei der Untersuchung »nach rechts«, »nach oben«, »nach links« u. s. w. sehen lässt, dann aber unter entsprechender Bewegung mit der Hand oder dem Augenspiegel einfach auffordert: »Sehen Sie dorthin« u. s. w.

5. Wird ein gewisses Sehvermögen zugegeben, so ist ähnlich wie in Gruppe I die annähernde Übereinstimmung der verschiedenen Prüfungs-

ergebnisse zu verlangen. Ein Mann, der bei Tageslicht in nächster Nähe noch Finger zählt, muss im allgemeinen noch in der Entfernung von einigen Metern Handbewegungen vor einem schwarzen Hintergrunde erkennen können; auch muss er sowohl, wie ein Mann, der allein noch frei umhergehen kann, bei Prüfung mit einer Kerzenflamme noch in 6 m Entfernung den Unterschied von Hell und Dunkel wahrnehmen, was ein gesundes Auge selbst bei geschlossenen Lidern noch zu leisten vermag (99).

Als Sehproben hat Burchardt (98) für hochgradig Schwachsichtige weiße Scheiben vorgeschlagen, die im allgemeinen hinter einem Schirm verdeckt gehalten und nur vorübergehend gezeigt werden. Der Untersuchte, dem man anfänglich nur große Scheiben hinhält, wird angewiesen, stets beim Erscheinen derselben schnell ein Zeichen zu geben, dass er sie gesehen, und wird auf dieses Verfahren zunächst eingeübt. Dann geht man plötzlich zur Vorzeigung erheblich kleinerer Scheiben über, und der Simulant wird eventuell unwillkürlich auch das Erkennen dieser kleinen Scheiben markieren. Natürlich muss das Vorzeigen derselben geräuschlos und auch nicht taktmäßig geschehen.

Ebenso wie in Gruppe I kann ferner die Aufnahme des Gesichtsfeldes in verschiedenen Entfernungen Verwendung finden, wobei allerdings eventuell besonders große weiße und farbige Sehobjekte heranzuziehen sind.

Zur möglichsten Klarstellung wird es sich schließlich empfehlen, noch den Wolffberg'schen Farbenapparat zur Prüfung zu verwerten.

Die Zahl der Simulanten ist dem geübten Untersucher gegenüber nach meiner Auffassung eine kleine, sie wächst mitunter nur dort, wo sich die Untersuchten augenärztlicher Unkenntnis gegenüber sehen.

Dem sorgfältig untersuchenden Augenarzte gegenüber verlässt manchen Schuldigen alsbald der Mut, wie dies drastisch in dem Ausspruch des Berliner Jungen zu Tage tritt, der mit Wissen der Mutter dem Hausarzt gegenüber einseitige Amaurose erfolgreich simuliert hatte, in der Hirschberg'schen Klinik jedoch nach kurzer Untersuchung in die klassischen Worte ausbrach: »Du Mutter, komm man nach Hause, hier geht es nicht«. (Realencyklopädie der Heilkunde, Amblyopie von Hirschberg.)

Andererseits entpuppt sich gelegentlich ein schon an anderer Stelle in den Verdacht der Simulation Geratener bei näherer Betrachtung einfach als ein harmloser Astigmatiker; einem zweiten verhilft wieder ein bis dahin übersehenes, nunmehr jedoch festgestelltes kleines centrales Farbenskotom zu seinem Rechte u. s. w.

Immerhin aber werden auch dem Augenarzte Fälle entgegentreten, bei denen die Herabsetzung der Sehleistung u. s. w. ohne die hier geschilderten speziellen Untersuchungsmethoden fraglich bleibt. Auch überall dort, wo

objektiv nachweisbare Störungen zwar bestehen, ihr Einfluss auf das Sehvermögen sich aber nicht sicher abschätzen lässt, und andererseits doch ein möglichst sicheres Prüfungsresultat erstrebt werden muss, wird man mit Nutzen auf die vorstehenden Prüfungen zurückgreifen. Dabei empfiehlt es sich stets, sine ira et studio zu verfahren und den Untersuchten einen Zweifel in seine Angaben nicht eher merken zu lassen, als bis man ihn sicher überführt hat. Der Simulant wird dadurch weniger hartnäckig gemacht und lässt sich vertrauensseliger gehen. Dem wirklich Schwachsichtigen fügt man jedoch auf diese Weise kein Unrecht zu, das er dem Untersucher als Unkenntnis und Inhumanität zum Vorwurf machen könnte. Das schließt nicht aus, dass man im allgemeinen bei den Untersuchungen mit einer gewissen Schnelligkeit und Energie verfährt, die dem Untersuchten zu langen Überlegungen keine Zeit lässt, und dass man ihn andererseits ernst ermahnt, sich stets bei allen Sehprüfungen möglichste Mühe zu geben.

Demjenigen, der fragliche Sehleistungen zu begutachten hat, sei schließlich noch ans Herz gelegt, bei wirklich vorhandenen krankhaften Zuständen, z. B. Hornhauttrübungen, seinem Gutachten niemals diejenige Sehschärfe zu Grunde zu legen, welche er vielleicht einmal unter besonders günstigen Umständen bei besonders guter Beleuchtung oder vorübergehender Reizfreiheit des Auges erzielt hat, sondern die Sehleistung in humaner Weise stets so zu beurteilen, wie sie sich voraussichtlich in dem Arbeitsleben des Untersuchten darstellen wird.

Anhangsweise sei noch des Umstandes gedacht, dass sich zuweilen, insbesondere unter Leuten, die bei der Eisenbahn angestellt werden wollen, auch **Dissimulanten** einfinden, d. h. Leute, die eine bessere Sehleistung zur Schau tragen möchten, als sie wirklich besitzen. Sie haben sich unter Umständen mit den Sehproben, die im Untersuchungszimmer hängen, vorher vertraut gemacht.

Für solche Fälle eignet sich die Untersuchung mit einzelnen Haken, wie unter Gruppe I angegeben, desgleichen natürlich mit Hakentafeln, die in die Hand genommen und verschiedentlich gedreht werden. Auch die kleinen Sehprobentafeln von Cohn, sowie von Schuh, die besonders für diesen Zweck gearbeitet sind, seien hier als recht zweckmäßig erwähnt, und insbesondere auch die Landolt'schen Optotypes empfohlen.

Litteratur zu Abschnitt IX.

1836. 1. Fallot, Untersuchung und Enthüllung der simulierten und verheimlichten Krankheiten. Brüssel. Übersetzt und bearbeitet von Fleck. Weimar 1841.

1852. 2. Ruete, Der Augenspiegel und der Optometer. Göttingen.

1855. 3. v. Graefe, A., Über ein einfaches Mittel, Simulation einseitiger Amaurose zu entdecken, nebst Bemerkungen über die Pupillarreaktion der Erblindeten. v. Graefe's Arch. f. Ophth. II, 1. S. 266.

1860. 4. Fles (Utrecht), Moyen de reconnaître la simulation de l'amaurose ou de l'amblyopie monoculaire. Arch. belges de méd. mil. XXV. S. 170.

1867. 5. v. Graefe, A., Simulation einseitiger Amaurose. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 53 ff.

6. v. Zehender, Bericht über den internationalen Kongress zu Paris. v. Zehender's klin. Monatsbl.

1868. 7. Warlomont, Congrès d'ophthalmologie. Compte rendu par W. Paris.

1869. 8. Berthold, Ein neues Verfahren, die Simulation monokularer Blindheit zu ermitteln. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 300.

1870. 9. Boisseau, Des maladies simulées et des moyens de les reconnaître.

10. Cuignet, Moyens de constation de l'amblyopie ou de l'amaurose d'un oeil. Rec. de mém. de méd. chir. et pharm. mil. April. S. 320—329.

11. Kugel, Eine Methode, in leichter Weise Simulation einseitiger Amaurose und Amblyopie festzustellen. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 343.

1871. 12. Schmidt-Rimpler, Notiz für Untersuchung auf Simulation von Blindheit. Berliner klin. Wochenschr. S. 526—527.

1872. 13. Driver, Beitrag zur Entdeckung simulierter einseitiger Amaurose. Berliner klin. Wochenschr. No. 12. S. 143.

1873. 14. v. Graefe, A., Eine Methode, simulierte einseitige Amblyopie, resp. den Grad der Übertreibung festzustellen. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 481—483.

1874. 15. Kalliwoda, Über Simulation von Augenleiden. Feldarzt. No. 1 u. 2.

16. Rabl-Rückhardt, Über die Anwendung des Stereoskops bei Simulation einseitiger Blindheit. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 1.

17. Rabl-Rückhardt, Nachtrag zu vorstehendem Aufsatz. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 3. S. 172—173.

18. Schmidt-Rimpler, Einige Bemerkungen zu dem Vortrage Burchardt's: Über den Einfluss, den Sehschwäche und Kurzsichtigkeit auf die Militärdienstfähigkeit haben. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 1. S. 16.

1875. 19. Kalliwoda, Über Simulation von Augenleiden. Feldarzt. No. 1—8.

20. Schenkl, Über Simulation der einseitigen Blindheit. Ärztl. Korrespondenzbl. Prag. Juli. No. 28. S. 205.

21. Vieusse, Amaurose simulée et un moyen de la découvrir à l'aide d'un stéréoscope. Rec. d'Opht. S. 248.

1876. 22. Galezowski, Sur un nouveau signe d'amaurose monoculaire simulée. Rec. d'Opht. S. 199—201.

23. Knapp, Die Verwertung der Augenbewegungen zur Diagnose einseitiger Blindheit. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. V. S. 190—195.

24. Monoyer, Note sur trois nouveaux moyens de découvrir la simulation de l'amaurose et de l'amblyopie unilatérales. Gaz. hebd. de Méd. et de Chir. No. 25. S. 388—390.

25. Rabl-Rückhardt, Über Vortäuschung von Blindheit. Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. N. F. XXIV, 1.

26. Schmidt-Rimpler, Zur Erkennung von Simulation von Blindheit. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 176.

1877. 27. Boudon, Note sur quelques moyens pratiques destinés á reconnaître l'amaurose et l'amblyopie simulées. Rec. d'Opht. S. 278.

1877. 28. Galezowski, Des affections ocul. simulées. Gaz. des Hôp. No. 29 u. 30.
29. Perrin, De l'examen de la vision devant les conseils de revision. Rec. de mém. de méd. de chir. et de pharm. mil. S. 1—18.
30. Snellen, Entdeckung von Simulation einseitiger Blindheit. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 303.

1878. 31. Armaignac, Traité élémentaire d'ophtalmoscopie d'optometrie et de refraction oculaire. Paris.
32. Chodin, Über die Entdeckung der Simulation der Blindheit und Amblyopie. Militär. med. Journ. Februar. Russland.
33. Herter, Entlarvung der Simulation von Sehstörungen. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 9 u. 10.
34. Herter, Zur Entlarvung der Simulation einseitiger Amaurose und Amblyopie. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 385—393 u. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 10.
35. Martin, Note sur un moyen de reconnaître et de mesurer l'amblyopie unilatérale. Rec. de mém. de méd. de chir. et de pharm. mil. S. 307 bis 310.

1879. 36. Burgl, Über Augenuntersuchungen bei der Rekrutierung und einen neuen Apparat hierzu. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 12. S. 591.
37. Maréchal, Note sur une modification à la boîte de Fles. Rec. de mém. de méd. de chir. et de pharm. mil. S. 437—441.
38. Peltzer, Über Optometer und militärärztliche Augenuntersuchungen beim Ersatzgeschäft. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 12. S. 604.
39. Rydel, Über die Eruierung simulierter Blindheit und Schwachsichtigkeit. Feldarzt. S. 11—13.
40. Rydel, Von den Mitteln, die Simulation der Amblyopie und Amaurose festzustellen. (Polnisch.) Przegl. lekars.

1880. 41. Bertelé, Note sur une modification à la boîte de Fles. Rec. de méd. mil. S. 297.

1882. 42. André, Modification pratique apportée à la boîte de Fles. Rec. de mém. de méd. de chir. et de pharm. mil. S. 627.
43. Harlam, A simple test for simulated monocular blindness. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 400.

1883. 44. Froidbise, Note sur l'examen des miliciens au point de vue de la simulation de l'amblyopie monoculaire. Arch. méd. belges. S. 239.
45. Stoeber, Echelle pour déterminer la simulation de l'amaurose unilatérale etc. Arch. d'Opht. Mai-Juni.
46. Swanzy, Amaurosis simulata utriusque oculi. Medycyn. XI, 3.
47. Schroeder, Zur Frage der Aufdeckung der Simulation einseitiger Blindheit. Berliner klin. Wochenschr. Oktober. No. 44. S. 678.

1884. 48. Bravais, Simulation de l'amaurose unilatérale. Nouvelle forme donnée a l'epreuve par les verres colorées de Snellen. Bull. et mém. de la soc. franç. d'opht. Paris. S. 166.
49. Rabl-Rückhardt, Zur Entlarvung der Simulation einseitiger Blindheit durch das Stereoskop. Berliner klin. Wochenschr. Februar. No. 6. S. 83.

1885. 50. Bertin-Sans, Nouvel optoscope pour déjouer la simulation de l'amblyopie et de la cécité monoculaires. Ann. d'hygiène et de méd. légale. S. 340.
51. Chauvel, Diagnostic de l'amblyopie unilatérale simulée. Arch. de méd. mil. August. S. 129. Rec. d'Opht. 1886. S. 225.
52. Haab, Simulation von Blindheit oder Schlechtsehen und der Nachweis derselben. Vortrag. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. No. 19.
53. Miller, Über Entlarvung einseitiger Blindheit. Roth'scher Jahresbericht.

1886. 54. Heddaeus, Die Pupillarreaktion auf Licht, ihre Prüfung, Messung und klinische Bedeutung. Wiesbaden, Bergmann.

1886. 55. Baroffio, Diagnosi medico-legale militare della amaurosi e dell' amblyopia monoculare. Giorn. med. del ro esercito e della ra marina. No. 8. S. 897.

1887. 56. Délay, Des principaux moyens de reconnaître la simulation de l'amaurose unilatérale. Thèse de Montpellier. Diss.

57. Haupt, Simulation einseitiger Amaurose. Friedreich's Blätter für gerichtl. Med. Heft 6. S. 433.

58. Kroll, Stereoskopische Leseproben zur Entdeckung der Simulation einseitiger Schwachsichtigkeit oder Blindheit. Krefeld, Halfmann. Beschrieben in v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 499—501.

1888. 59. Bastier, Examen de la vision pour le service de la marine. Thèse de Montpellier.

60. Heddaeus, Reflexempfindlichkeit, Reflextaubheit und reflektorische Pupillenstarre. Berliner klin. Wochenschr. April. No. 17 u. 18.

61. Heddaeus, Über Pupillarreaktion. Bericht über den 7. internat. ophth. Kongr. zu Heidelberg. S. 456.

62. Heddaeus, Eine Bemerkung zur Pupillarreaktion. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 410.

63. Jakob, Über simulierte Augenkrankheiten. Diss. Kiel.

64. Michaud, Procédé pour reconnaître la simulation de l'amaurose et de l'amblyopie monoculaire devant les conseils de révision. Arch. de méd. de chir. et de pharm. mil. XI. S. 264.

65. Schmeichler, Sehschwäche ohne erklärenden Spiegelbefund. Der Militärarzt. 1888. No. 4 u. 5, desgl. 1895. No. 7 u. 8.

66. Schmeichler, Beiträge zu den Sehfehlern der Soldaten. Der Militärarzt. No. 4 a u. 5; 1895. No. 6 u. 7.

67. Seggel, Über die Prüfung des Licht- und quantitativen Farbensinnes und ihre Verwertung für die Untersuchung des Sehvermögens der Rekruten. Arch. f. Augenheilk. XVIII. S. 303.

68. Ziem, Zur Erkennung aggravierter Augenleiden. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 344.

1889. 69. Astegiano, Un'aggiunta alla casetta del Flees. Giorn. med. del ro esercito e della ra marina. No. 3. S. 241.

70. Barthélémy, L'examen de la vision devant les conseils de révision et de réforme. Paris. S. auch Arch. de méd. de chir. et de pharm. mil. XIII. S. 316.

71. Below, Zur Bestimmung der Sehschärfe bei zum Militär Einberufenen, die der Simulation von Amblyopie verdächtig sind. Westnik Ophth. VI, 2. S. 12.

72. Heddaeus, Über Prüfung und Deutung der Pupillensymptome. Arch. f. Augenheilk. XX. S. 46.

73. Heddaeus, Über reflektorische Pupillenstarre. Centralbl. f. Nervenheilk. u. s. w. No. 3.

74. Hoor, Neue stereoskopische Tafeln zur Konstatierung simulierter monokularer Amblyopie und Amaurose. Der Militärarzt. Wien. Juni. Heft 11 u. 12.

75. Kugel, Über Diagnose der Simulation von Amaurose und Amblyopie. Wiener med. Wochenschr. Heft 6, 7, 8 u. 9.

76. Lawrentjew, Zur Bestimmung von Simulation der Abnahme der Sehschärfe bei Rekruten. Westnik Ophth. VI. S. 510.

77. Rosanow, Zur Diagnose der simulierten einseitigen Amaurose und Amblyopie. Westnik Ophth. VI. S. 130.

1890. 78. Below, Briefliche Antwort auf den Artikel von Dr. Lawrentjew: Zur Bestimmung von Simulation der Abnahme der Sehschärfe bei Rekruten. Westnik Ophth. VII. S. 66.

79. Heller, Simulationen und ihre Behandlung. Leipzig, Abel.

1890. 80. Seeligmüller, Erfahrungen und Gedanken zur Frage der Simulation bei Unfallverletzten. Deutsche med. Wochenschr. No. 43 u. 44.

1891. 81. Becker, F., Ein Apparat zur Sehschärfenbestimmung mit beweglichen Lesezeichen. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juni. S. 171.

82. Becker, F., Über absolute und relative Sehschärfe bei verschiedenen Formen von Amblyopie. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 404—423.

83. Carl, Ein Apparat zur Prüfung der Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XXIV. S. 41.

84. Lippincott, New test for binocular vision. Amer. Ophth. Soc. 26. Jahresversammlung.

85. Specht, Eine kritische Zusammenstellung der Verfahren, durch welche Simulation und Aggravation von Sehstörungen nachgewiesen werden kann. Diss. Bonn.

86. Froehlich, L., Des procédés modernes pour reconnaître la simulation de la cécité ou de la faiblesse visuelle. Rev. méd. de la Suisse romande. Dezember. No. 12.

1892. 87. Benzler, Simulation einseitiger Blindheit. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 1. S. 24.

88. v. Graefe, A., Notiz zu dem Prismenversuch behufs Nachweises der Simulation einseitiger Amaurose. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 60.

89. Schmidt-Rimpler, Zur Simulation konzentrierter Gesichtsfeldeinengungen mit Berücksichtigung der traumatischen Neurosen. Deutsche med. Wochenschr. Juni. No. 24. S. 561.

1893. 90. Nieden, A., Über Simulation von Augenleiden und die Mittel ihrer Entdeckung. Festschrift zur Feier des 25jähr. Jubiläums der ärztlichen Vereine des Regierungsbezirkes Arnsberg. Wiesbaden, Bergmann.

91. Simi, Contribuzione allo studio delle malattie simulate protestate ecc. Boll. d'Ocul. XV. No. 17.

92. Wiecherkiewicz, Beitrag zu den Entdeckungsmethoden einseitig simulierter Amblyopie und Amaurose. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 134.

93. Wilhelmi, Zur Frage der Aggravation bei Augenverletzungen. Zeitschr. f. Medizinalbeamte. No. 23.

94. Ohlemann, Über Aggravation von Augenverletzungen. Zeitschr. f. Medizinalbeamte. Oktober. No. 20. S. 493—501.

95. Coronat, Procédé destiné à découvrir la simulation de l'amaurose unilatérale. Province méd. Oktober.

96. Ohlemann, Zur Aggravation von Amblyopie. Zeitschr. f. Medizinalbeamte. Dezember. No. 23. S. 584.

1894. 97. Barthélémy, E., Amblyopie double simulée, procédé pour la déjouer et mesurer l'acuité visuelle. Arch. de méd. de chir. et de pharm. mil. XXIII. S. 285.

98. Burchardt, M., Praktische Diagnostik der Simulationen u. s. w. 4. Aufl. Berlin.

99. Groenouw, Über einige Mittel zur Entlarvung simulierter Schwachsichtigkeit. Monatsschr. f. Unfallheilkunde. Juni. No. 6. S. 167.

100. Herter, Zur Frage einseitiger Blindheit ohne objektiven Befund. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 9 u. 10. S. 411.

101. Minor, Simulation of monocular Amblyopia. Arch. Ophth. XXII. 4. S. 493.

102. Segal, Neue Methoden zur Entdeckung der vorgetäuschten Blindheit und der Aggravation. Medizinskoje obozrenje. LXI. S. 1155.

103. Wernicke, Vollständige linksseitige Blindheit ohne jeglichen objektiven Befund. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 5.

104. L'Instruction ministérielle française sur l'aptitude physique au service militaire. 1877 u. 1894.

1895. 105. Hamann, Fall von erheuchelter einseitiger Blindheit. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 8 u. 9. S. 378.

1895. 106. Ohlemann, Kasuistische Beiträge zur Simulationsfrage. Ärztl. Sachverständigen-Zeitschr. März. No. 6. S. 65.
107. Schmidt-Rimpler, Bemerkungen zu simulierter und wirklicher Sehschwäche und Gesichtsfeldeinengung. Festschrift zur 100jähr. Stiftungsfeier des Friedrich-Wilhelms-Instituts.
108. Segal, Zur Frage der Entlarvung einseitiger Blindheit. Westnik Ophth. Nov., Dez. Ref. in Nagel's Jahresbericht.
109. Froehlich, C., Prismen und erheuchelte einseitige Blindheit. v. Zehender's klin. Monatsbl. August. S. 263.
110. Froelich, H., Vortäuschung von Krankheiten. Leipzig, Naumann.
1896. 111. Adler, Über Wechsel- und Verwechselungssehproben. Bericht über die 25. Vers. der ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 325.
112. Beauvais, Un cas de simulation d'amblyopie (d'amaurose) double. Bull. méd. Mai.
113. Helmbold, Über Simulation. v. Zehender's klin. Monatsbl. S. 217—218.
114. Lucciola, Guida all' esame functionale del occhio. Torino. Tipografia Sabesiana.
115. Roth, A., Vortrag auf der 68. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Frankfurt a. M. (s. diesbezügl. Bericht.)
1897. 116. Baldanza, Un nuovo mezzo di misura dell' acuita visiva per i sospetti simulatori dell' amaurosi o della amblyopia monoculari. Giorn. med. del regio esercito. No. 4. S. 376.
117. Baudry, Un procédé facile de produire la diplopie à l'aide du prisme simple. Son application à la recherche de la simulation de la cécité unilatérale. Arch. d'Opht. XVII. S. 550. Rev. gén. d'Opht. S. 433. Wiener klin. Wochenschr. No. 41. Westnik Ophth. XIV. S. 530. — Simulation de l'amaurose et de l'amblyopie. Lille ed. Tallandier 1898.
1898. 118. Jakson, College of physicians of Philadelphia. Ophth. Sect. Jan. 18.
119. Baudry, Simulation de l'amaurose et de l'amblyopie. Lille.
1899. 120. Fridenberg, The detection of simulated monocular blindness. The Ophth. Rec. Jan. S. 10—15.
121. Heddaeus, Über Prüfung und Deutung der Pupillensymptome. Centralbl. f. Nervenheilk., Psychiatrie u. s. w. August. No. 15. S. 450.
122. Kröger, Die Prüfung der Sehschärfe bei Verdacht auf Simulation. Petersburger med. Wochenschr. No. 3. S. 121.
1900. 123. Roth, A., Die Krankheiten des Sehorgans. Handbuch der Militärkrankheiten von Düms. Verlag von Georgi.
124. Schmitz, Simulationsprobe unter Benutzung der Spiegelschrift. Wochenschrift f. Therapie u. Hygiene d. Auges. 22. Febr. No. 21. Zeitschr. f. Augenheilk. Heft 4. S. 361 ff.
1901. 125. Wick, Simulation von Blindheit und Schwachsichtigkeit und deren Entlarvung. Kritische Zusammenstellung. Berlin.
126. Wick, Nachtrag zu vorstehender Arbeit. Zeitschr. f. Augenheilk. VI, 4.
127. v. Haselberg, Tafeln zur Entlarvung der Simulation einseitiger Blindheit und Schwachsichtigkeit. Wiesbaden.
128. Symens, Ein neuer Apparat zur Sehprüfung und Entlarvung von Simulation. Deutsche militärärztl. Zeitschr. Heft 12.
129. Ammon, Sehprobentafeln zur Bestimmung der Sehschärfe für die Ferne, mit besonderer Berücksichtigung der ärztlichen Gutachterthätigkeit. München.
1902. 130. Roth, A., Das Stereoskop und die Simulation einseitiger Sehstörungen. Berlin.
1903. 131. Mayeda, U., Mein Optometer. Med. Woche. No. 2.

X. Ophthalmotonometrie.

Prüfung des intraokularen Druckes.

Nach der ersten Auflage von Snellen-Landolt

bearbeitet von

Dr. F. Langenhan,

Oberarzt in Hannover, früher 1. Assistent an der Augenklinik von Dr. E. Landolt, Paris.

Mit Fig. 216—224.

§ 216. Unter Ophthalmotonometrie versteht man herkömmlicherweise die Lehre von der Prüfung des intraokularen Druckes. Der Name ist nicht glücklich gewählt, denn Spannung (Tonus) des Auges und intraokularer Druck sind einander nicht gleich zu setzen.

Folgende Methoden können zur Prüfung des intraokularen Druckes dienen:

I. Die intraokulare Messung durch Einführung einer mit einem Manometerschenkel in Verbindung stehenden Kanüle in das Innere des Augapfels: Die Ophthalmomanometrie.

II. Die extraokulare Messung:

1. Durch ophthalmometrische Bestimmung des Krümmungsradius der Hornhaut,

2. durch digitale oder instrumentelle Ausübung eines Druckes auf die Augenkapsel und Untersuchung der Relation zwischen der angewandten Druckstärke und der Formveränderung der Bulbuswandung.

Die erste Methode, die 1850 von C. Weber begründete Ophthalmomanometrie, zeichnet sich aus durch Exaktheit und Objektivität; sie kommt jedoch für klinische Zwecke nicht in Betracht, da ihre Anwendung mit Gefahren für das zu untersuchende Auge verbunden ist.

Von den extraokularen Messungsmethoden sei zunächst die ophthalmometrische mit einigen Worten berücksichtigt.

In seiner Arbeit über die Akkommodation des Auges, die v. Helmholtz (1) in dem ersten Bande des v. Graefe'schen Archives veröffentlicht hat, berichtet er von Versuchen, die ihm bewiesen haben, dass die Hornhautkrümmung abhängig ist von dem Drucke der intraokularen Flüssigkeiten, und zwar so, dass der Krümmungsradius um so größer wird, je höher der Druck ist. »Es lässt sich also erwarten«, schrieb v. Helmholtz, »dass sich bei den mit Drucksteigerung einhergehenden Krankheiten diese Veränderungen an der Hornhaut verraten werden«.

Über diese Frage sind im Laufe der letzten Jahrzehnte von verschiedenen Forschern Versuche angestellt worden. Besonders Donders (3, 4),

Schelske (5), Coccius (18), v. Reuss (26) und Stocker (36) beschäftigten sich eingehender mit diesem v. Helmholtz'schen Problem; Schelske konnte durch Versuche an exstirpierten Kaninchen- und Menschenaugen die Ansicht v. Helmholtz's bestätigen, Donders und Coccius vermochten jedoch klinisch beim Vergleich eines glaukomatösen Auges mit dem gesunden desselben Individuums keinen Unterschied in der Größe des Krümmungsradius zu finden. Auch v. Reuss und Stocker wagten nicht, trotz eingehender Cornealmessungen, die sie bei ihren Experimenten über die Beeinflussung des intraokularen Druckes durch Miotica und Mydriatica vorgenommen haben, aus der Größe des Hornhautradius bindende Schlüsse zu ziehen auf die Höhe des intraokularen Druckes.

Die ophthalmometrische Methode der Druckmessung wird also wegen ihrer noch ungenügenden Ausbildung und praktischen Verwertbarkeit in dieser tonometrischen Studie ebenfalls nicht eingehender zu erörtern sein.

Wir werden uns lediglich auf die Besprechung der unter II, 2. angeführten, klinisch verwertbaren extraokularen Untersuchungsmethoden beschränken.

Digitale Tonometrie.

§ 217. Im allgemeinen bedient man sich in der Praxis zur Beurteilung des intraokularen Druckes noch immer der digitalen Palpation des Augapfels.

Man fordert den Patienten auf, nach abwärts zu sehen, legt die Spitzen der beiden Zeigefinger nebeneinander auf das obere Lid und übt mit ihnen abwechselnd einen sanften Druck auf die Sklera aus. Mittel-, Ring- und kleiner Finger stützen sich dabei auf den oberen Orbitalrand und die Stirn, um die Hand möglichst zu fixieren und zu kontrollieren, ob der Patient Bewegungen mit seinem Kopfe macht, die zu Täuschungen Veranlassung geben könnten. Die Palpationsbewegungen werden nur mit den tastenden Fingerspitzen ausgeführt, Hand und Arm bewegen sich nicht.

Die Fingerkuppen werden möglichst nahe dem Supraorbitalrand aufgesetzt, weil das Augenlid dort am dünnsten ist und unser Urteil nicht durch die bei verschiedenen Individuen ungleiche Dicke des Tarsus gestört wird. Bei widerstrebenden Kindern, die mit Gewalt die Augen zukneifen, ist die Tonometrie ohne Narkose nicht ausführbar.

Wir schätzen nun die Höhe des intraokularen Druckes nach der Kraft, die wir aufwenden müssen, um den Widerstand der Bulbuskapsel zu überwinden und einen deutlich wahrnehmbaren Eindruck in derselben zu erzeugen.

Bowmann nahm an, dass man auf diese Weise sieben verschiedene Grade des intraokularen Druckes unterscheiden könne, drei über, drei unter der normalen »Tension« (T), und wollte dieselben mit $T+1$, $T+2$,

$T+3$, $T-1$, $T-2$, $T-3$ bezeichnet wissen. Setzen wir dafür einfach die Worte: Augendruck normal, leicht erhöht, stark erhöht, maximal erhöht, und: etwas vermindert, stark vermindert, Auge ganz weich. Denn die Zahlen täuschen doch nur eine Genauigkeit vor, die ihnen hier nicht zukommt.

Die Resultate der digitalen Methode sind in der That sehr ungenau, wie man schon aus der Bowmann'schen Aufstellung von nur sieben verschiedenen Druckhöhen entnehmen kann. Die Fehlerquellen bestehen in der ungleichen Beschaffenheit der Augenlider und des intraorbitalen Fettpolsters verschiedener Individuen, in dem ungleichmäßigen Aufsetzen der Finger des Untersuchers bei verschiedenen Palpationen, in der Unvollkommenheit und Verschiedenheit des Tast- und Drucksinnes unserer Fingerspitzen, schließlich in der Schwierigkeit des Vergleiches zweier zu verschiedenen Zeiten percipierter Tast- und Druckempfindungen.

Die digitale Tonometrie gestattet deshalb nicht, leichte Druckerhöhungen, wie sie bei der Frühdiagnose des Glaukoms in Betracht kommen, leichte Schwankungen des Druckes im Verlaufe dieser Krankheit mit Sicherheit nachzuweisen und die Wirkung unserer therapeutischen Eingriffe auch nur annähernd zu beurteilen. Differenzen in der Meinung verschiedener Beobachter lassen sich durch digitale Tonometrie natürlich nicht entscheiden.

An Zuverlässigkeit würde die Bulbuspalpation gewinnen, wenn man nach dem Vorschlage von R. A. Fick (41) den Druck des palpierten Auges direkt vergliche mit dem bekannten Druck eines »Augendruckschemas«. Als solches könnte man z. B. ein Kalbs- oder Schweinsauge verwenden, das mit einem Quecksilbermanometer in Verbindung steht. Der Druck im Tierauge würde so lange geändert, bis er dem tastenden Finger gleich groß erscheint als der Druck in dem Auge des Patienten.

Würden die Grenzen der Unterscheidungsfähigkeit des Druck- und Tastsinnes unserer Fingerbeeren an diesem Augendruckschema durch Experimente festgestellt, so könnte man voraussichtlich mit dieser Art der Bulbuspalpation die tonometrische Skala feiner graduieren als mit den sieben Graden Bowmann's.

Instrumentelle Tonometrie.

§ 218. Die Ungenauigkeit der digitalen Tonometrie erklärt das Bedürfnis nach Instrumenten, Tonometern, die objektiv die Höhe des intraokularen Druckes bestimmen lassen. Die bisher konstruierten Tonometer lassen sich in zwei Kategorien teilen, Impressions- und Applanationstonometer. Obwohl das Prinzip der ersteren, wie wir später sehen werden, auf nicht einwandsfreien Voraussetzungen beruht, seien die bekanntesten Impressionstonometer aus Rücksicht auf den Entwicklungsgang der instrumentellen Tonometrie kurz erwähnt.

1. Impressionstonometer.

Das Prinzip der Impressionstonometer erhellt aus der Erklärung, die A. v. Graefe (23) 1863 von dem ersten Tonometer gab: Übt man mit einem Stäbchen einen allmählich wachsenden Druck gegen die Bulbuswandung aus, so wird man einen nach und nach größer werdenden Eindruck in derselben erzeugen. Je höher der Druck in den Augen ist, um so geringer wird die Tiefe des Eindrucks, um so größer muss die Druckkraft sein.

Fig. 216.

Tonometer nach Hamer-Lecoultre.

Wir werden also Impressionstonometer diejenigen Tonometer nennen, die aus dem Verhältnis zwischen Tiefe des Eindrucks und der denselben erzeugenden Kraft die Höhe des intraokularen Druckes bestimmen wollen.

Das alte v. Graefe'sche Instrument besteht aus einem kleinen Stäbchen, das mittelst eines belasteten einarmigen Hebels gegen das Auge angedrückt wird, während man auf einer Skala die Tiefe des Eindrucks bei verschiedener Belastung ablesen kann. Als Stützpunkt für das Instrument dient der obere Orbitalrand.

Gleichzeitig und unabhängig von v. Graefe hatte Hamer (23) unter der Leitung von Professor Donders ein Tonometer in dem »Gasthuis voor Ooglijders« in Utrecht konstruiert. Das Hamer'sche Instrument lässt sich direkt gegen den Augapfel andrücken. Es besteht aus einem Metalltubus, aus dem ein Stift hervorragt. Dieser steht mit einer aufgewundenen Uhrfeder in Verbindung, deren Spannung beim Eindrücken zu überwinden ist. Drückt man das Instrument so gegen die Bulbuswand, dass der Rand des Tubus gerade die Sklera berührt, so wird je nach der Höhe des intraokularen Druckes der Stift einerseits in der Sklera

einen Eindruck von gewisser Tiefe hervorbringen, andererseits in bestimmtem Grade zurückweichen und die Druckkraft der Feder überwinden.

Als Maß wurde also bei dem v. Graefe'schen und Hamer'schen Tonometern — ebenso auch bei dem später von dem Genfer Uhrmacher Lecoultre technisch vervollkommneten Hamer'schen Instrument (Fig. 216), das Dor (6) auf dem Heidelberger Kongress 1865 demonstrierte — einerseits die Tiefe des Eindrucks in der Bulbuskapsel benutzt, andererseits die Kraft, durch welche derselbe erzeugt wird; die angeführten Tonometer arbeiteten demnach mit zwei variablen Faktoren, so dass die Resultate verschiedener Untersuchungen nicht direkt miteinander vergleichbar waren.

Diese Forderung kann nur erfüllt werden, wenn einer dieser Faktoren als konstant angenommen wird. Dor wählte als Konstante die Druckkraft und schlug vor, das Tonometer nicht mit der Hand aufzusetzen, sondern an einem Faden aufzuhängen und durch seine eigene Schwere, also mit stets gleichbleibendem Gewicht, auf das Auge wirken zu lassen.

Donders (23) verschaffte sich eine konstante Druckkraft, indem er die Feder, welche mit dem auf den Bulbus drückenden Stift in Verbindung steht, so lang machte, dass beim Einschieben desselben die Spannung immer annähernd dieselbe blieb. Auf diese Weise war eine konstante Kraft gegeben, und man hatte auf dem Zifferblatt des Instrumentes, das die Form und Größe einer Taschenuhr hatte, nur abzulesen, wie tief der Stift in die Sklera eingedrungen war.

Das 1870 von Monnik (16) in Utrecht entworfene Instrument ermöglichte, bald die Druckkraft, bald die Tiefe des Eindrucks als konstant anzunehmen, d. h. bei verschiedenen Untersuchungen entweder dasselbe Gewicht zu benutzen und zu messen, wie tief der durch dasselbe erzeugte Eindruck ist, oder jedesmal einen Eindruck von konstanter Tiefe zu machen und dann abzulesen, welches Gewicht dazu erforderlich war.

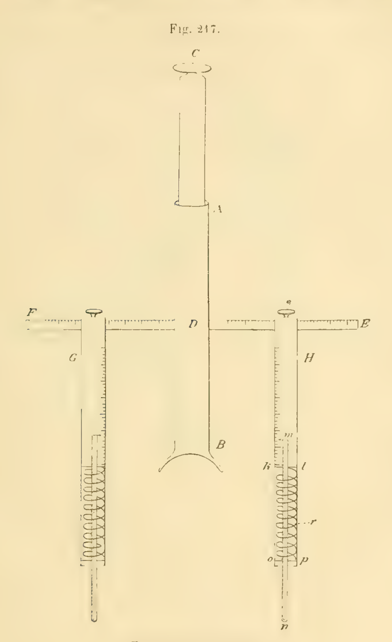
Impressionstonometer wurden später noch von Lazerat (33), Priestley Smith (35)[1] Helmbold (56) u. a. konstruiert.

Das Helmbold'sche Instrument soll rasch die Druckdifferenz der beiden Augen eines Individuums bestimmen lassen. Es wird aus zwei federnden, durch einen Querbalken verbundenen Tonometern gebildet, deren jedes auf einem Auge ruht. Man übt in der Halbierungslinie des Querbalkens einen bestimmten Druck auf die Tonometer aus und vergleicht an einer Skala die verschiedene Tiefe des Eindrucks in beiden Augen (Fig. 217).

1) Priestley Smith betonte übrigens ausdrücklich, dass er mit der Tiefe des Eindrucks nicht den Innendruck des Auges, sondern den Widerstand der Augenwände misst.

SNELLEN (23) konstruierte ein Tonometer, das mit gegebener Kraft einen Eindruck in der Sclerotica erzeugt, dessen Tiefe, Breite und gesamte Form in allen Richtungen gemessen werden können (Fig. 218).

Fig. 217.



Tonometer nach HELMBOLD

Das Instrument besteht (Fig. 218a und b) aus einem Tubus, in dem sich drei Stifte (*a*, *c*, *a*) isoliert verschieben lassen. Der mittlere, *c*, ist verbunden mit einer Spiralfeder *p*, durch deren Spannkraft man einen bestimmten Druck ausüben kann. Die zwei äußeren Stifte *aa* lassen sich — unabhängig voneinander — mit ganz geringer Reibung verschieben

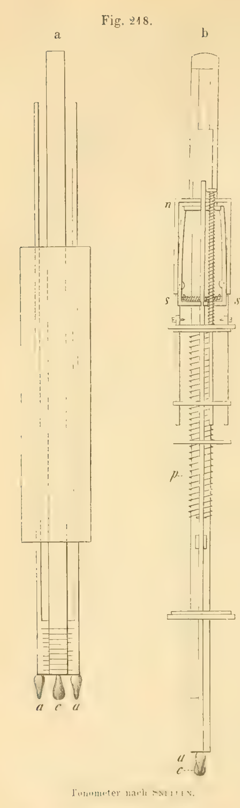


Fig. 218.

Tonometer nach Snellen.

und tragen in Millimeter geteilte Skalen, auf welchen man den Stand der drei Stifte zu einander, also auch die Tiefe des Eindrucks in die Sclerotica, ablesen kann. Sobald die Spiralfeder bis auf einen bestimmten Grad zusammengepresst ist, springt eine zweite Feder *ss* los, welche die drei Stifte mittelst der Klammer *n* (Fig. 218b) in ihrer gegenseitigen Stellung fixiert. Durch einen einfachen Mechanismus lassen sich die beiden äußeren Stifte *aa* mehr oder weniger auseinanderrücken, so dass man aus einigen Untersuchungen bei verschiedenen Abständen der Stifte *aa* auf die gesamte Form des Eindrucks schließen kann.

2. Applanationstonometer.

§ 219. Mit Ausnahme des Snellenschen Tonometers, das auch die Form des Eindrucks zu messen gestattet, beruhen die bisher angeführten Tonometer, wie wir bereits oben angedeutet haben, auf nicht einwandsfreiem Prinzip. Nach Snellen machten Imbert (31) und A. Fick (39) darauf aufmerksam, dass die Tiefe des mit einer bestimmten Kraft in einem Auge erzeugten Eindrucks außer von dem im Auge herrschenden Druck und anderen untergeordneten Faktoren (so z. B. Dicke und Starrheit der Bulbushülle, Abweichung des Auges von der Kugelgestalt), vor allem abhängt von einer zweiten dem Eindrucke entgegenwirkenden Kraft: der Wandspannung des Auges.

Zwischen hydrostatischem Druck und Wandspannung besteht allerdings eine innige Beziehung, worauf Imbert und später Fick hingewiesen haben. Nimmt man nämlich an, dass die Bulbuswandung eine völlig elastische, biegsame Hülle sei, die einen

flüssigen Inhalt in Kugelform umschließt, so kann man die Gleichung aufstellen:

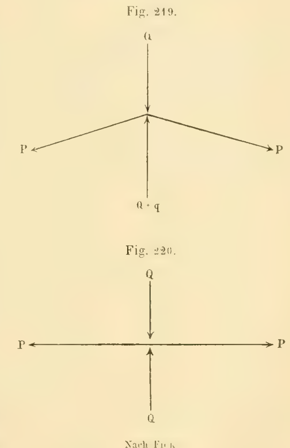
$$\frac{\text{Intraokularer Druck} \times \text{Kugelradius}}{2} = \text{Wandspannung}.$$

Man hätte also nur Wandspannung und Radius zu messen, um den intraokularen Druck zu finden. Die praktische Bestimmung der Wandspannung ist jedoch selbst mit dem Snellen'schen Tonometer aus den bekannten Verhältnissen eines konkaven Eindrucks unmöglich, denn man bedürfte dazu verschiedener Radien und Winkel, die am Lebenden nicht messbar sind (Fick).

Imbert und A. Fick haben nun beide unabhängig voneinander nachgewiesen, dass man die Wandspannung in sehr einfacher Weise eliminieren kann.

Folgen wir der physikalischen Auseinandersetzung A. Fick's (39):

Ein geknickt verlaufender Faden sei mit der Kraft P gespannt (Fig. 219), gegen die den Faden halbierende Knickungsstelle wirke von oben die Kraft Q. Soll der Faden seine Lage beibehalten, so muss von unten eine um einen gewissen Betrag q größere Kraft $Q + q$ wirken, da die obere Kraft Q unterstützt wird durch von oben nach unten wirkende Komponenten der Spannung P.



Nach Fick.

Ist der Faden gerade gespannt (Fig. 220), so besteht Gleichgewicht, wenn auf die Mitte des Fadens mit der gleichen Kraft Q von oben und unten her gedrückt wird, da keine Spannungskomponente in Betracht kommt.

Drückt man ein ebenes Plättchen mm (Fig. 221) mit einer Kraft Q gegen eine Blase, deren Wand von einer biegsamen Membran gebildet ist und in deren Innern ein gewisser hydrostatischer Druck Q' herrscht, so tief, dass sich die angrenzenden Teile der Blasenwand um das Plättchen hervorwulsten, dann hält die Kraft Q Gleichgewicht:

1. Dem auf die ganze Fläche des Plättchens entfallenden hydrostatischen Druck Q',

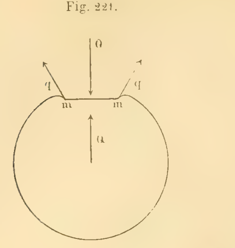


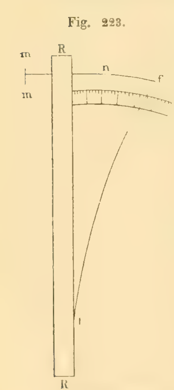
Fig. 221. Fig. 222.

Nach Fick.

2. gewissen Komponenten der Blasenwandspannung q.

Wird jedoch das Plättchen von einer Kraft Q nur gerade so tief eingedrückt, dass die direkt angrenzenden Teile der Blasenwand mit der unteren Fläche des Plättchens gerade in eine Ebene fallen (Fig. 222), dann ist die Kraft Q dem auf die Oberfläche des Plättchens entfallenden Innendruck Q' gleich. Die Wandspannung kann völlig eliminiert werden, da keine Komponente derselben mitwirkt, weder im Sinne der Kraft Q, noch im Sinne des Innendrucks, denn die Zugrichtung der Wandspannung rings am Rande des Plättchens fällt in die Ebene des Plättchens.

Fig. 223.



Tonometer nach Fick.

Auf Grund dieser Erwägung konstruierte A. Fick (40) folgendes einfache Ophthalmotonometer:

Ein kleines ebenes Plättchen mm Fig. 223 ist mittelst eines Drahtstieles n an der Feder ff fixiert. Das untere Ende der Feder ff ist an einem Rähmchen RR befestigt, in dessen Lichtung sie in Gleichgewichtslage ganz frei schwebt.

Wird ein Druck gegen mm ausgeübt, so gleitet die Feder längs eines am Rähmchen befestigten, mit der Skala S versehenen Gradbogens zurück.

Die Skala ist so eingeteilt, dass jeder Teilstrich einer Belastung der Tonometerplatte von 1 g entspricht. Die Größe der Platte ist so gewählt Diameter = 6,8 mm, dass eine darauf gelegte Quecksilberschicht von 2 mm Höhe gerade 1 g wiegt, man also in einfachster Weise den intraokularen Druck in Millimeter Hg ausdrücken kann.

Die Untersuchung gestaltet sich folgendermaßen:

Der Patient wird aufgefordert, seinen Kopf nach hinten zu beugen und den Blick seitwärts zu richten. Das Plättchen wird gegen die Sklera gedrückt, bis es dieselbe so weit abgeplattet hat, dass es mit der nächst angrenzenden Zone der Sklera eine Ebene bildet. Der hierzu erforderliche Druck wird in diesem Momente an der Skala abgelesen. Durch mehrere aufeinander folgende Kontrollmessungen schützt man sich vor Irrtümern.

Eine gewisse Schwierigkeit besteht darin, gleichzeitig den Moment der Abplattung zu bestimmen und auf der Skala den Ausschlag abzulesen.

Koster (49) und Ostwalt (52) haben deshalb das Fick'sche Instrument modifiziert.

Das Koster'sche Tonometer giebt automatisch mittelst einer sehr einfachen Fangvorrichtung den Moment an, wo die Platte eben überall die Sklera berührt, und fixiert außerdem den Indikator in seiner Stellung, so dass man das Instrument vom Auge entfernen und dann den Druck ablesen kann. Bezüglich der genaueren Beschreibung verweise ich auf v. Graefe's Archiv, XLI, 2[1].

Ostwalt lässt die Lageveränderung der Feder des Fick'schen Apparates durch einen Stift auf einer kleinen berußten Glasplatte aufschreiben, die hinter dem Gradbogen des Tonometers befestigt wird, und erspart so das Ablesen auf der Skala während der Messung.

Während bei dem A. Fick'schen Instrument und seinen Modifikationen der Diameter der Abplattungsfläche als konstant angenommen und die Kraft bestimmt wird, die zur Erzeugung dieser Abplattung nötig ist, konstruierte Maklakoff (44) ein Applanationstonometer, das bei allen Messungen dieselbe Kraft, dasselbe Gewicht benutzt und den Diameter der abgeplatteten Cornealfläche bestimmt.

1) Das Koster'sche Instrument erinnert sehr an ein altes, in Vergessenheit geratenes Tonometer von Ad. Weber, das bereits im Jahre 1863 konstruiert worden war. Es besteht aus einem zwischen zwei fixen Stäbchen und mit denselben in einer Ebene befindlichem Stift, der gegen die Kraft einer Spiralfeder auf die Lederhaut drückt, bis deren Krümmung in einer gewissen Ausdehnung zu einer Ebene abgeplattet ist und sein Ende mit dem Ende der beiden Stäbchen in eine Gerade fällt. In diesem Moment wird durch eine Feder der mittlere Stift automatisch inmobilisiert, und man kann auf einer Skala die zur Abplattung nötige Kraft ablesen. Das Weber'sche Instrument war insofern unvollkommen, als die Abplattung keine vollständige war. Jedenfalls gebührt aber Ad. Weber die Ehre, das erste Applanationstonometer konstruiert zu haben.

Maklakoff erzeugt den konstanten Außendruck durch einen kleinen hohlen Metallcylinder (Fig. 224), in welchem frei ein Bleistück gleitet, um den Schwerpunkt nach unten zu verlegen.

Der 10 g schwere Cylinder endet mit zwei Halbkugeln, deren Äquatorebene durch eine Platte, von 1 cm Durchmesser, aus weißem poliertem Glas gebildet ist. Die Glasplatten sind mit einer dünnen Schicht Glycerin-Eosin-Lösung überzogen.

Mittelst eines Handgriffes, in dessen Schlinge der Metallcylinder hängt, setzt man denselben auf den Scheitel der kokainisierten Hornhaut des horizontal liegenden Patienten auf und hebt ihn, sobald er mit seinem ganzen Gewicht auf der Cornea lastet, rasch in die Höhe. Die durch diesen Cylinderdruck auf der Cornea erzeugte runde Abplattungsfläche hebt infolge ihrer Feuchtigkeit auf der korrespondierenden Stelle der gefärbten Glasplatte die Farbschicht ab. Die Glasplatte drückt man auf ein präpariertes Papier und erhält so einen Abklatsch, dessen farblose centrale Partie der Abplattungsfläche der Cornea entspricht. Man misst den Diameter $2r$ mit einem Millimetermaßstab und kann daraus den intraokularen Druck in Millimeter Hg nach der Formel: Höhe der Hg-Säule in Millimeter $= \frac{10{,}000}{r^2 \pi \cdot 13{,}6}$ (Ostwalt)[1]) annähernd genau berechnen.

Fig. 224.



Tonometer nach Maklakoff.

Absolute Genauigkeit können wir natürlich auch von den Applanationstonometern nicht erwarten; einmal ist ja die Voraussetzung für die Richtigkeit ihrer Messungen nicht erfüllt, dass die Augenkapsel eine völlig elastische, biegsame Membran sei, dann aber giebt auch ihre Konstruktion und Handhabung Veranlassung zu unterlaufenden Fehlern. Bei Druckbestimmungen

1) Nach Lachowitsch (45) entspricht der mit dem Maklakoff'schen Instrument gemessene normale intraokulare Druck 26 mm Hg (nach Golowin (53) 25 mm Hg), betragen die individuellen Schwankungen 3—4 mm Hg, der intraokulare Druck bei Glaukom 32—100 mm (nach Golowin 40—98 mm Hg).

mit dem FICK'schen Tonometer besteht die Gefahr, dass der Untersucher nicht genau in dem Moment der vollständigen Abplattung die Steigerung des Druckes unterbricht; bei dem MAKLAKOFF'schen Instrument können nach OSTWALT (47) ungenaue Werte namentlich daraus resultieren, dass sich beim Aufsetzen des Metallcylinders auf die Cornea die Farbschicht der Platte nicht nur an der wahren Berührungsfläche löst, sondern auch noch durch kapillare Ausbreitung der Flüssigkeit in der nächsten Umgebung der Kontaktfläche.

Litteratur zu Abschnitt X.

1854. 1. v. Helmholtz, Über die Akkommodation des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. I, 2. S. 16.

1861. 2. Hafmans, Beiträge zur Kenntnis des Glaukoms. v. Graefe's Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 124.

1863. 3. Donders, F. C., Vorzeigung neuer ophthalmometrischer Instrumente. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 502.

4. Donders, F. C., Über einen Spannungsmesser des Auges (Ophthalmotonometer). v. Graefe's Arch. f. Ophth. IX, 2. S. 215.

1864. 5. Schelske, R., Über das Verhältnis des intraokularen Druckes und die Hornhautkrümmung des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. X, 2. S. 1.

1865. 6. Dor, H., Über ein verbessertes Tonometer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. III. S. 351.

1867. 7. Weber, Ad., Einige Worte über Tonometrie. Neues Tonometer. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XIII, 1. S. 201, 203. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VI. S. 405.

8. Dor, H., Tonometer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. V. S. 299.

9. Dor, H., Über Ophthalmotonometrie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XIV, 1. S. 13.

1868. 10. Adamück, E., Noch einige Bemerkungen über den Intraokulardruck. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 385.

1869. 11. Monnik, A. F. W., Tonometers en Tonometrie. Verslag Ned. Gasth. voor Ooglijders. No. 10. S. 55 u. Ann. d'Ocul. LXI. S. 176; LXIII. S. 73.

12. v. Hippel, A., und A. Grünhagen, Über den Einfluss der Nerven auf den intraokularen Druck. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XV, 1. S. 265; XVI, 1. S. 27.

13. Snellen, Über Tonometer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VI. S. 563.

14. Adamück, E., Neue Versuche über den Einfluss des Sympathicus und Trigeminus auf Druck und Filtration im Auge. Sitzungsbericht d. Wiener Akad. Math. Kl. LIX, 2.

1870. 15. Adamück, E., Over den invloed van atropine op den intraoculaire drukking. Versl. Ned. Gasth. voor Ooglijders. No. 11. S. 179.

16. Monnik, A. F. W., En nieuwe Tonometer en zyn gebruik. Ned. Arch. v. Genees-en Nat. V. S. 66 en Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laborat. der Utrecht'sche Hoogeschool. III. S. 20 u. Ann. d'Ocul. LXIV. S. 221 u. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 49.

1871. 17. Pflüger, E., Beiträge zur Ophthalmotonometrie. Inaug.-Diss. Bern.

1872. 18. Coccius, E. A., Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge. Leipzig.

19. Snellen, Un tonomètre. Ann. d'Ocul. LXI. S. 270.

20. Burchardt, Über Tonometrie. Tagebl. d. Naturforschervers. Breslau. S. 229.

1873. 21. Snellen, H., Über einige Instrumente und Vorrichtungen zur Untersuchung der Augen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 429—431.
22. Weber, Ad., Bemerkungen zur Ophthalmotonometrie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 435.
1874. 23. Snellen-Landolt, Die Funktionsprüfungen des Auges (Ophthalmotonometrie). Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. II.
1875. 24. Hirschberg, Zur Beeinflussung des Augendruckes durch den N. trigeminus. Centralbl. f. med. Wissensch. S. 82—84.
1877. 25. Landolt, E., Leçons sur le diagnostic des maladies des yeux. S. 60.
26. v. Reuss, Über die Wirkung des Eserins auf das normale Auge. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIII, 3. S. 63.
27. Pflüger, Weitere Beiträge zur Tonometrie. Bericht über die Augenklinik Bern.
1879. 28. Priestley Smith, Glaucoma. London.
1883. 29. Höltzke, Experimentelle Untersuchungen über den Druck in der Augenkammer. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIX, 2. S. 5.
1884. 30. Schultén, Experimentelle Untersuchungen über die Cirkulationsverhältnisse im Auge. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXX, 3 u. 4.
1885. 31. Imbert, Théorie des ophtalmotonomètres. Arch. d'Opht. V. S. 358.
32. Maklakoff, L'ophtalmotonomètre. Arch. d'Opht. V. S. 159.
33. Lazerat, Un nouveau tonomètre ocul. Rec. d'Opht. S. 614.
1886. 34. Galezowski, Présentation d'un tonomètre. Bull. et mém. de la soc. franç. d'opht. 4. année. S. 348.
1887. 35. Priestley Smith, A new tonometer. Ophth. Rev. S. 33.
36. Stocker, Über den Einfluss der Mydriatica und Miotica auf den intraokularen Druck. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIII, 1. S. 105.
1888. 37. Wahlfors, Über Druckmessungen im menschlichen Auge. Bericht über d. 7. internat. ophth. Kongr. zu Heidelberg. S. 268.
38. Fick, E., A. Fick's Ophthalmotonometer. Bericht über d. 7. internat. ophth. Kongr. zu Heidelberg. S. 289.
39. Fick, A., Über Messungen des Druckes im Auge. Pflüger's Arch. f. Physiol. XLII. S. 86.
40. Fick, A., Demonstration eines neuen Ophthalmotonometers. Sitzungsbericht d. phys.-med. Ges. No. 7. S. 109.
41. Fick, R. A., Ein neues Ophthalmotonometer. Inaug.-Diss. Würzburg.
1891. 42. Priestley Smith, On the pathol. and treatment of glaucoma. London.
1892. 43. Rindfleisch, Intraokularer Druck mittelst Leber's Manometer. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 2. S. 221.
44. Maklakoff, Contribution à l'ophtalmotonomètrie. Arch. d'Opht. XII. S. 321.
1893. 45. Lachowitsch, Genauigkeit der gegenwärtigen Methoden der Bestimmung des intraokularen Druckes und über die Anwendung in der Praxis. Inaug.-Diss. Petersburg. (Ref. in Nagel's Jahresber.)
1894. 46. Nicati, Le problème de la tension oculaire et ses applications. Rev. gén. d'Opht. S. 165.
47. Ostwalt, Ophthalmotonometrische Studie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XL, 5. S. 22.
1895. 48. Ostwalt, Etudes ophtalmoton. Bull. et mém. de la soc. franç. d'opht. S. 414.
49. Koster, Beiträge zur Tonometrie und Manometrie des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 2. S. 113.
50. Ostwalt, Bemerkungen zum vorhergehenden Artikel. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 3. S. 264.
51. Koster, Erwiderung an Ostwalt. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 4. S. 274.
52. Ostwalt, Modification de l'ophtalmoton. de Fick. Rev. gén. d'Opht. XIV. S. 481 u. Bericht d. 24. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 239.

1895. 53. Golowin, S., Ophthalmotonometrische Untersuchungen. Inaug.-Diss. Moskau.
1896. 54. Chwalinski, Tonometrie des Auges. Westnik Ophth. 4. 5. S. 469. (Ref. in Nagel's Jahresber.)
55. Dor, Nouvel ophtalmotonomètre. Rev. gén. d'Opht. No. 6.
56. Helmbold, Eine Methode, Spannungsdifferenzen im Auge zu messen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 214.
1898. 57. Skvortzow, Sur la question de mensuration de la pression intraocul. 12. Congr. internat. XI. S. 353. (Ref. in Nagel's Jahresber.)
1901. 58. Haab, O., Atlas der äußeren Erkrankungen des Auges nebst Grundriss ihrer Pathologie und Therapie. München. J. F. Lehmann. S. 25.

XI. Methoden zum Nachweis und zur Lokalisation ins Auge gedrungener Fremdkörper.

Von

Dr. F. Langenhan,

Oberarzt in Hannover, früher 1. Assistent an der Augenklinik von Dr. E. Landolt, Paris

Mit Fig. 225—227.

I. Ophthalmosideroskopie.

§ 220. Die Ophthalmosideroskopie beschäftigt sich mit dem Nachweis und der Lokalisation intraokularer eiserner oder stählerner Fremdkörper mit Hilfe der Magnetnadel.

Erst seit einigen Jahren bedient man sich dieser Untersuchungsmethode mit gutem Erfolg. Vor der Verwertung der magnetischen Kraft war die therapeutisch so wichtige sichere Diagnose eines intraokularen Eisensplitters nur dann zu stellen, wenn derselbe sichtbar oder durch Sondierung nachweisbar war. In jedem anderen Fall konnte man aus der Anamnese und dem klinischen Bild die Anwesenheit von Eisen im Augeninnern nur vermuten. Die verhängnisvolle Folge war, dass der Arzt diesen Fällen mit unsicherer Diagnose häufig genug rat- und machtlos gegenüberstand.

Dank der Verwendung der magnetischen Kraft in Form der Sideroskopie sind wir jetzt im stande, die Anwesenheit und den Sitz intraokularer magnetischer Fremdkörper bis auf verschwindend wenig Ausnahmen mit annähernder Sicherheit zu diagnostizieren und, gestützt auf die Resultate der Sideroskopuntersuchungen, den korrekten therapeutischen Weg einzuschlagen.

Indikation zur Anwendung der Sideroskopie ist jede Augenverletzung, bei welcher der Verdacht vorliegt, dass ein magnetischer Fremdkörper in das Auge eingedrungen sein könnte.

Auch wenn das Corpus alienum mit bloßem Auge oder mit dem Ophthalmoskop gesehen werden kann, ist es im Hinblick auf Prognose und Therapie ratsam, die Sideroskopuntersuchung vorzunehmen, um sicher festzustellen, ob es sich um einen magnetischen Fremdkörper handelt.

Thomas R. Pooley (1, 2) gebührt das Verdienst, als Erster im Jahre 1881 stählerne oder eiserne Fremdkörper im Auge mittelst der Magnetnadel nachgewiesen zu haben. Er bediente sich der in der allgemeinen Chirurgie angewandten Methode Alfred Suree's, der bereits 1844 eiserne Fremdkörper aus der Ablenkung einer an einem Faden suspendierten Magnetnadel diagnostiziert hatte. Schon Suree machte den Fremdkörper in unsicheren Fällen durch Annäherung eines Elektromagneten vor der Untersuchung influenzmagnetisch und steigerte so den Ausschlag der Magnetnadel; liegt derselben der gleichnamige Pol des Fremdkörpers zunächst, so flieht sie bekanntermaßen, während sie anderenfalls vom entgegengesetzten Pole angezogen wird. Pagenstecher (4) lieferte zuerst in Deutschland den Nachweis von Eisensplittern im Auge mittelst der Magnetnadel, die er nach Kompassart auf einer feinen Nadel rotieren ließ.

Fröhlich (5) bediente sich bereits einer sehr empfindlichen Magnetnadel, die er so an einem Stativ mittelst Coconfadens aufhängte, dass man an einer in Grade eingeteilten Kreisperipherie die Größe der Schwingungen ablesen konnte.

Diese älteren Instrumente, namentlich die Fröhlich'sche Nadel[1], waren wohl im stande, selbst wenig voluminöse Fremdkörper nachzuweisen, bei kleinsten, tief in den Bulbus eingedrungenen Eisensplittern jedoch versagten sie. Zum Nachweis dieser bedarf es wesentlich empfindlicherer Instrumente, wie sie uns jetzt im Léon Gérard'schen Magnetometer, vor allem aber im Asmus'schen Sideroskop und seinen Modifikationen zur Verfügung stehen.

Diese neueren Instrumente besitzen eine außerordentlich fein reagierende Magnetnadel, deren kleinste, mit bloßem Auge nicht erkennbaren Ausschläge mit Hilfe der Spiegelablesung, bezw. Spiegelreflexion, beobachtet werden können.

Das Gérard'sche Magnetometer wurde in seiner ursprünglichen Form[2] im Jahre 1890 auf dem 10. internationalen medizinischen Kongress zu Berlin

1) Die Fröhlich'sche Nadel soll nach Fröhlich (5) schon bei 0,005 g schweren Eisensplittern reagiert haben, wenn dieselben in der Mitte des Glaskörpers lagen.

2) Léon Gérard hat als Erster die Spiegelreflexion zum Nachweis intraokularer Eisensplitter nutzbar gemacht. Schon in der ursprünglichen Form arbeitete sein Magnetometer mit der Spiegelreflexion, doch ohne Fernrohr, die von einer Lichtquelle ausgehenden Strahlen wurden von einem am magnetischen System befestigten Konkavspiegel auf eine Skala geworfen, auf der man direkt das Wandern des Lichtstreifens, und somit die Magnetnadelbewegungen beobachtete.

von GALLEMAERTS demonstriert. Es erfuhr später einige Veränderungen und besteht nun in seiner verbesserten Form (15) aus einem nivellierbarem Gestell, das eine 40 cm lange horizontale Stange trägt. An dem einen Ende derselben befindet sich das bewegliche magnetische System, am anderen Ende ist ein kleines mit Fadenkreuz versehenes Fernrohr befestigt, über welchem eine dem magnetischen System zugewandte Millimeterskala angebracht ist.

Das bewegliche magnetische System wird von einer an einem Coconfaden suspendierten Magnetnadel von 6—7 mm Länge gebildet. Mit derselben steht ein Planspiegel von 6 mm Durchmesser in Verbindung, in dem sich die Millimeterskala spiegelt. Die Magnetnadel pendelt in einem kleinen Gehäuse, das vorn durch eine plane, hinten durch eine nach außen konkave Glasscheibe abgeschlossen ist, so dass das zu untersuchende Auge möglichst nahe an die Magnetnadel herangebracht werden kann. Die Untersuchung wird in ähnlicher Weise vorgenommen, wie die im folgenden näher beschriebene Untersuchung mit dem ASMUS'schen Sideroskop. Es seien deshalb hier nur einige Punkte erwähnt, die genauere Beschreibung findet sich im Sitzungsbericht der Soc. franç. d'opht., séance du 8 mai 1894.

Das verletzte Auge wird der hinteren konkaven Fläche des Kästchens genähert, der Beobachter sieht durch das Fernrohr nach dem Spiegelbilde der Skala, kontrolliert, ob sich dasselbe bei Annäherung des Auges bewegt, und vergleicht die Ablenkung bei verschiedenen Blickrichtungen des kranken Auges.

Die Empfindlichkeit der Methode kann gesteigert werden durch vorhergehendes Influenzmagnetisieren des Fremdkörpers und Verwendung eines an Stelle der einfachen Nadel einfügbaren astatischen Nadelpaares, vermindert werden mit Hilfe eines an der horizontalen Stange verschiebbar angebrachten Magnetstabes.

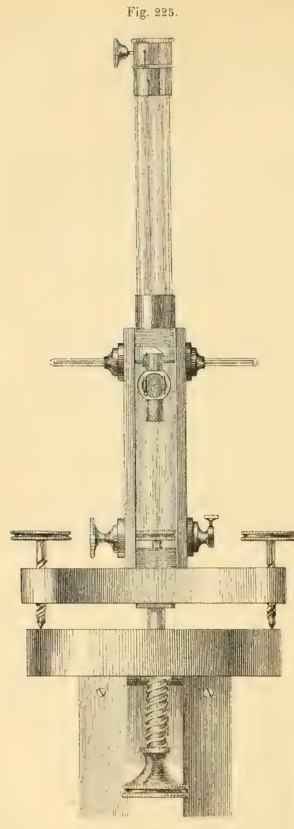
Das Sideroskop von Asmus.

Das Sideroskop von ED. ASMUS (31) hat in kurzer Zeit infolge seiner zuverlässigen Leistungen eine große Zahl von Anhängern gefunden; eine eingehendere Beschreibung erscheint deshalb gerechtfertigt, und zwar in enger Anlehnung an die Vorschriften des Erfinders.

Die Magnetnadel des ASMUS'schen Sideroskops befindet sich in einem schlanken Holzkästchen von 15 cm Höhe, das vorn und hinten durch Schiebfenster von Spiegelglas geschlossen und auf einer durch drei Messingschrauben nivellierbarem Glasplatte befestigt ist (Fig. 225). Mit Hilfe einer Konsole wird dieselbe am zweckmäßigsten an einer von Norden nach Süden verlaufenden Wand des Untersuchungszimmers angebracht.

Der zum Tragen der Magnetnadel bestimmte Coconfaden hängt in einem Glasrohr herab, welches der oberen, central durchbohrten Wand des

Fig. 225.



Sideroskop von Asmus (nach Asmus).

Holzkästchens aufgesetzt ist. Die 11 cm lange Magnetnadel ragt beiderseits 4 cm aus dem Holzkästchen hervor, ihre Enden sind mit 6 mm weiten, in das Gehäuse einschraubbaren Glashülsen umgeben[1]), welche die Nadel möglichst vor den Erschütterungen der Luft und vor Berührung schützen sollen.

Eine zweite, gleich starke Magnetnadel kann zur partiellen Astasierung der ersteren leicht unter derselben angebracht werden, und zwar so, dass die gleichnamigen Pole untereinander zu liegen kommen; die obere Nadel befindet sich dadurch in annähernd labilem Gleichgewicht und wird durch verhältnismäßig schwache magnetische Einflüsse stark abgelenkt. Die Sideroskopnadel kann auch vollkommen entfernt und durch ein astatisches Nadelpaar ersetzt werden, dessen Pole ebenfalls durch Glashülsen geschützt sind.

Zur Wahrnehmung sehr kleiner, vom bloßen Auge schwer oder gar nicht erkennbarer Ausschläge der Magnetnadel, hat Asmus sein Sideroskop für die

1) Axenfeld (32) rät, kleine Kupferröhrchen von 1 mm Wandstärke über die Glashülsen des Sideroskops zu schieben. Bei der Bewegung der Magnetnadel entstehen in den Kupferhülsen Induktionsströme, die hemmend auf die Nadelbewegungen wirken und so die Nadel rascher zur Ruhe kommen lassen.

Gauss-Poggendorff'sche Spiegelablesung eingerichtet. Der dazu dienende kleine Planspiegel ist an einem am Coconfaden vertikal hängenden Aluminiumröhrchen befestigt, das gleichzeitig als Träger der Magnetnadel dient. Der Spiegel reflektiert eine der Front des Kästchens gegenüber aufgestellte, gut beleuchtete Millimeterskala, deren Bild durch ein mit vertikalem Okularfaden versehenes terrestrisches Fernrohr betrachtet werden kann[1].

Dem Sideroskop ist ferner eine Dämpfungsnadel beigegeben, mit welcher man die Sideroskopnadel anziehen und dadurch weniger empfindlich machen kann. Diese Herabsetzung der Empfindlichkeit ist wünschenswert, wenn es sich um die Untersuchung eines Auges handelt, das einen großen Eisensplitter birgt und die Magnetnadel in einem ausgedehnten Bezirk maximal ablenkt, so dass eine genaue Ortsbestimmung unmöglich ist.

Der Sideroskopuntersuchung soll möglichst in einem ruhig gelegenen, vor Erschütterungen (vorüberfahrende Wagen u. s. w.) und magnetischen Einflüssen (elektrische Bahnen[2]) geschützten Raume ausgeführt werden, da anderenfalls Schwankungen der Magnetnadel entstehen, die zu irrigen Deutungen Veranlassung geben können. Namentlich bei diagnostisch schwer zu beurteilenden Fällen, welche die Spiegelablesung verlangen, hat man dieser Vorschrift unbedingt zu genügen: ist dies am Tage nicht möglich, so werden wir die Untersuchung nachts, nachdem der elektrische Bahnbetrieb eingestellt ist und der Straßenverkehr nachgelassen hat, vornehmen, ohne dass wir an die Magnetnadel die Forderung absoluter Ruhe stellen. Denn selbst bei Ausschaltung der oben erwähnten Fehlerquellen wird die Nadel kleine, mit dem Fernrohr wahrnehmbare Schwingungen zeigen, die aber den einigermaßen geübten Beobachter nicht irreführen; ihre Intensität und die Größe ihrer Exkursionen ändern sich sofort in charakteristischer Weise, falls das der Nadel genäherte Auge einen magnetischen Fremdkörper birgt.

---

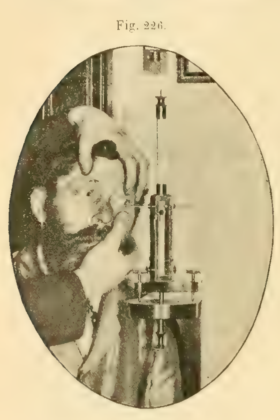
1) Diese Spiegelablesungsmethode wurde für medizinische Zwecke zuerst von Edelmann benutzt, dem das Lamont'sche Magnetoskop zur Lokalisation subkutaner eiserner Fremdkörper diente. An dieses Instrument lehnte sich das Asmus'sche Sideroskop an, wie Asmus ausdrücklich betont.

2) Der elektrische Bahnbetrieb kann die Sideroskopuntersuchungen in störender Weise beeinflussen (Linde 29, Mendel 42). Linde machte auf die Ursachen dieses Übelstandes aufmerksam: Da die Rückleitung des elektrischen Stromes keine isolierte ist, sondern von den Schienen Elektrizität an die umgebende feuchte Erde abgegeben wird, entsteht ein breiter, den Schienen parallel laufender Erdstrom, dessen Wirkung noch im Umkreise von Hunderten von Metern zu verspüren ist. Die Stärke desselben wechselt natürlich, je nachdem der Führer des Wagens die elektrische Kraft variiert, so dass die in der Nähe der Leitungen befindlichen Sideroskopnadeln fortwährend ungleichmäßig Schwankungen zeigen, die eine exakte Ablesung unmöglich machen.

Ohne Einfluss auf die Magnetnadel ist natürlich die elektrische Beleuchtung, da der Strom in einem isolierten Draht zurückgeleitet wird.

Ehe man den Patienten an das Sideroskop führt, hat man sich natürlich durch eine genaue Voruntersuchung über Lage und Form der Wunde orientiert und versucht, aus dem objektiven Befunde und der Anamnese (Flugrichtung des Fremdkörpers, Haltung des Kopfes im Augenblicke der Verletzung) Anhaltspunkte zu finden für den Weg, den der Eisensplitter im Auge genommen haben könnte. Gewiss ist es keine überflüssige Vorsichtsmaßregel, nach Narben in der Umgebung des Auges zu suchen, die eventuell alte eingeheilte Eisensplitter enthalten (Asmus), oder nach Eisenpartikelchen, die sich vielleicht im Haar festgesetzt haben (z. B. bei Eisenarbeitern) und so zu diagnostischen Irrtümern führen könnten (Stölting, persönliche Mitteilung, Praun 40).

Fig. 226.



(Nach Asmus.)

Vor Beginn der Untersuchung haben sich ferner die beteiligten Personen aller eisernen oder stählernen Gegenstände zu entledigen (Taschenmesser, Schlüssel, Uhr u. s. w.), die einen Einfluss auf die Magnetnadel haben würden. Das kranke Auge wird kokainisiert und behufs Influenzmagnetisierung des eventuell vorhandenen Eisensplitters vorsichtig, nachdem man vorher den Strom geschlossen hat, einem Elektromagneten genähert[1]). Man bedient sich dabei desselben Magnetpoles wie bei der dann folgenden Sideroskopuntersuchung (Asmus).

Die Prüfung mit dem Sideroskop wird nun zunächst ohne Spiegelablesung vorgenommen: Der untersuchende Arzt überzeugt sich, dass die Nadelenden frei in den Glashülsen schwingen und lässt den Patienten sich auf einen Stuhl so neben das Sideroskop setzen, dass das kranke Auge genau in Höhe der Magnetnadel steht und derselben bequem genähert werden kann. Darauf stellt er sich seitlich hinter den Kranken, hält die Lider des verletzten Auges gut auseinander (Fig. 226) und legt unter Beobachtung der Magnetnadel die verschiedenen Quadranten der zugänglichen Bulbusoberfläche nacheinander

1) Das Heranführen des Auges an den Elektromagneten kann auch nach der ersten Sideroskopuntersuchung vorgenommen und auf die Fälle beschränkt werden, in denen die Nadel keinen oder einen zweifelhaften Ausschlag gezeigt hat.

möglichst seitlich an die Nadelhülsen an, indem er den Patienten verschiedene Blickrichtungen einnehmen lässt.

Die Untersuchung kann folgende Resultate ergeben:

1. Sämtliche Meridiane oder ein ausgedehnter Bezirk der Bulbusoberfläche geben bei Annäherung des Auges an die Nadel maximale Ablenkung.

2. Man kann mit bloßem Auge erkennen, dass nur eine cirkumskripte Stelle die Nadel maximal anzieht.

3. Der Ausschlag der Nadel ist unsicher oder so klein, dass sein Maximum mit bloßem Auge nicht zu erkennen ist.

4. Es tritt überhaupt keine mit unbewaffnetem Auge wahrnehmbare Reaktion ein.

In Fall 2 erübrigt sich eine weitere Untersuchung; man lokalisiert den Fremdkörper entsprechend dem Maximum der Nadelablenkung[1]).

In Fall 1 muss die Empfindlichkeit der Sideroskopnadel mit Hilfe der Dämpfungsnadel herabgesetzt werden; dieselbe befindet sich auf einem mit der Konsole beweglich verbundenen Brettchen und wird so weit der Sideroskopnadel genähert, dass nur noch die dem Fremdkörper zunächst liegende Partie der Bulbusoberfläche eine maximale Ablenkung der Nadel bewirkt[2]).

Fall 3 und 4 dagegen verlangen die Fernrohr-Spiegelablesung, die unter den oben angeführten Kautelen ausgeführt werden muss[3]).

Man placiert Fernrohr mit Skala in ca. 3,50 m Entfernung auf einem Tisch dem Apparat gegenüber und stellt das Fernrohr so ein, dass man das Bild der Skala im Sideroskopspiegel scharf sieht und der Faden des Okulars mit dem Nullpunkt der Skala zusammenfällt. Während nun ein Assistent die verschiedenen Meridiane des zu examinierenden Auges der Magnetnadel nähert, beobachtet der Untersucher das Verhalten des Skalenspiegelbildes und notiert oder diktiert, falls die Untersuchung positiv ausfällt, die Größe des Ausschlages in den verschiedenen Meridianen bei mehreren vergleichenden Ablesungen.

Giebt die Fernrohr-Spiegelablesung kein klares oder gar kein Resultat, so müssen wir die Methoden heranziehen, die zur Steigerung der Empfindlichkeit des Sideroskopes dienen:

---

1) Nach neueren Mitteilungen von Asmus (49) konnte er in $^5/_6$ seiner Fälle das Sideroskop mit Erfolg ohne Spiegelablesung benutzen. Hellgreen (51) berichtet, dass er nur in 26 % seiner Sideroskopuntersuchungen das Fernrohr angewandt hat.

2) Auch durch Vergrößerung der Entfernung zwischen krankem Auge und Magnetnadel könnte man natürlich den Nadelausschlag verringern, doch würde dann begreiflicherweise die Lokalisation erschwert, ja eventuell unmöglich werden.

3) Betreffs der sogenannten »feinen Einstellung« sei auf Asmus' Monographie (31) verwiesen.

1. Partielle Astasierung der Magnetnadel oder
2. Verwendung des astatischen Nadelpaares.

Erhalten wir selbst dann ein negatives Resultat, so können wir die Anwesenheit eines intraokularen Eisensplitters mit größter Wahrscheinlichkeit ausschließen.

Auch für die Entscheidung der prognostisch und therapeutisch so wichtigen Frage, ob es sich um einen intra- oder extraokularen Fremdkörper handelt, kann uns die Sideroskopie wertvolle Anhaltspunkte liefern; entsteht nämlich eine deutliche Nadelablenkung bei Annäherung des Bulbus, während trotz ausgiebiger Bewegungen des untersuchten Auges keine wesentlichen Schwankungen der Sideroskopnadel auftreten, so muss uns das darauf hinweisen, dass es sich vielleicht um einen extrabulbären Fremdkörper handelt. Sachs (28 betont mit Recht, dass in solchen Fällen eine vergleichende Untersuchung mit Röntgenstrahlen zweckmäßig ist, durch die man feststellt, ob der Fremdkörperschatten seinen Ort trotz Lageveränderung des Auges beibehält.

Die Röntgenuntersuchung ergänzt und kontrolliert die Sideroskopie namentlich auch bei der Lagebestimmung tiefer im Auge sitzender Eisensplitter, die vom Sideroskop weniger genau lokalisiert werden können als die der Bulbusoberfläche nahe liegenden. Schließlich wird uns die Untersuchung mit Röntgenstrahlen zuweilen genauere Aufschlüsse über Form und Größe des eisernen Fremdkörpers geben als die Sideroskopie (Hellgreen 51).

Eine exakte Bestimmung der Größe des Eisensplitters ist mit der Sideroskopie nicht möglich; man wird sich aber aus der Größe und Intensität des Nadelausschlages unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Entfernung des Eisenstückchens von der Bulbusoberfläche, ferner aus der Entfernung, in der man eventuell die Dämpfungsnadel aufzustellen hat, eine gewisse Vorstellung von dem Volumen bilden können (Asmus 52). Auch die Gestalt der perforierenden Wunde wird uns meist Anhaltspunkte für die Größe des Corpus alienum geben, man lasse sich aber nicht verleiten, aus der geringen Ausdehnung der Wunde sicher auf einen kleinen Fremdkörper zu schließen, hinterlassen doch bekanntermaßen längliche und spitze Eisensplitter von recht ansehnlichem Gewicht zuweilen kaum wahrnehmbare Spuren in der Bulbuskapsel, wenn die Flugrichtung mit dem Längsdurchmesser zusammenfiel.

Über die Leistungsfähigkeit des Sideroskopes belehrt uns die Thatsache, dass es gelungen ist, mit demselben in der Retina sitzende Eisensplitter von noch nicht 1 mg nachzuweisen; ja es scheint aus Versuchen, die Asmus mit genau gewogenen Eisensplitterchen vorgenommen hat, hervorzugehen, dass mit dem Sideroskop Splitter von $^1/_2$ mg selbst bei tiefstem Sitz im Bulbus diagnostiziert werden können. Dieses feine Reaktionsvermögen verdankt

das Sideroskop vor allem dem Umstande, dass das kranke Auge in allen Meridianen bis dicht an die Magnetnadel herangeführt werden kann.

Hirschberg (34) hat das Asmus'sche Sideroskop von dem Mechaniker Färber (Berlin) so modifizieren lassen, dass die Beobachtung stets mit bloßem Auge geschieht, ähnlich wie es von Léon Gérard für sein altes Magnetometer angegeben worden war. Die von einer Lampe auf das Reflexspiegelchen der Magnetnadel geworfenen Lichtstrahlen werden von demselben auf eine im Untersuchungszimmer aufgestellte Skala geworfen. Die Lichtstrahlen passieren zunächst eine Konvexlinse, vor welche ein vertikal verlaufender Draht gespannt ist. Der durch denselben erzeugte strichförmige Schatten bewegt sich auf der Skala entsprechend den Bewegungen der Magnetnadel. Der Ausschlag ist viel geringer, als beim Asmus'schen Sideroskop; 2—3 Teilstriche bedeuten schon die Anwesenheit von Eisen; bei der Größe des Bildes ist aber nach Hirschberg (34) schon der Ausschlag von $^1/_2$ Teilstrich sicher wahrnehmbar.

Einzelne Autoren haben vorgeschlagen, auch die großen Elektromagnete (Riesenmagnete) zur Diagnose intraokularer Eisensplitter zu benutzen[1]).

Versucht man mit Hilfe eines großen Elektromagneten, z. B. des Haab-schen, intraokulare magnetische Fremdkörper zu extrahieren, so kann man die Beobachtung machen, dass der Patient fast regelmäßig bei Annäherung des verletzten Auges an den Magneten eine schmerzhafte Empfindung äußert.

Der Schmerz erklärt sich aus der Lageveränderung des Fremdkörpers, welcher, der magnetischen Kraft folgend, die feinen Nervenästchen des umgebenden Gewebes alteriert.

Besitzt der Fremdkörper eine gewisse Größe, so wölbt sich zuweilen das zwischen Magnetspitze und Eisensplitter gelegene Stück der Sklera, Cornea oder Iris nach dem Magneten zu vor, oder es tritt infolge einer Irisverletzung, die der vom Magneten angezogene Splitter gelegentlich verursacht, eine leichte Blutung in die vordere Kammer auf.

Diese Symptome, namentlich aber die Schmerzempfindung, haben verschiedene Autoren (Haab 13, 19, Callan 27, Sachs 28 u. a.) veranlasst, die großen Elektromagnete auch als Sideroskope zu verwenden. Die Erfahrung

1) Pagenstecher (4) riet bereits 1881, starke Magnete bei klaren Medien des zu untersuchenden Auges zu diagnostischen Zwecken zu verwenden; er folgerte die Anwesenheit eines Eisensplitters, wenn sich bei Annäherung des Magneten die geringste Bewegung im Augeninnern nachweisen ließ. — In neuester Zeit empfehlen Haab (55) und Gelpke (54) wieder, diese Lokomotion durch magnetische Anziehung für die Sicherung der Augenspiegeldiagnose zu verwerten.

hat jedoch gelehrt, dass im Augenhintergrunde fest eingekeilte Eisensplitter, wie Haab (13, 55) selbst erwähnt hat, trotz des Zuges, den die Elektromagnete auf sie ausüben, zuweilen keine Schmerzempfindung auslösen, ein negatives Resultat also nicht beweisend für die Abwesenheit des vermuteten Eisensplitters ist (Hirschberg 50). Andererseits können große Splitter an verschiedenen Stellen Zug- und Schmerzgefühl erzeugen und dadurch die Lokalisation unmöglich machen (Knapp 43).

Dazu kommt, dass diese Art der Sideroskopie zweifellos nicht ohne Gefahr ist; bei unvorsichtiger Annäherung des Auges an einen Riesenmagneten oder unvorsichtiger Dosierung des elektrischen Stromes kann es sich ereignen, dass der Untersucher gegen seinen Willen einen therapeutischen Effekt mit der Diagnose verbindet und womöglich irreparablen Schaden anrichtet, namentlich wenn es sich um einen größeren zackigen Eisensplitter handelt, der, mit großer Kraft dem Zuge des Elektromagneten folgend, vorher unverletzte Teile, z. B. Linse, Iris oder Ciliarkörper zerreißt (Linde 29, Hellgreen 51).

Litteratur.

1881. 1. Pooley, Th., R., Der Nachweis und die Lokalisation von Stahl- und Eisenpartikeln im Auge durch die Indikation der Magnetnadel. Arch. f. Augenheilk. X. S. 9.

2. Pooley, Th. R., Über die Entdeckung der Anwesenheit und des Sitzes von stählernen und eisernen Fremdkörpern im Auge mit Hilfe einer Magnetnadel. Arch. f. Augenheilk. X. S. 315. Amer. med. Assoc. Sect. of Ophth.: New York Med. Rec. No. 23.

3. Grüning, Centralbl. f. prakt. Augenheilk. V. S. 60.

4. Pagenstecher, Zwei Fälle von Extraktion von Eisensplittern aus dem Glaskörper nebst Bemerkungen über die Diagnostik und Extraktion von Stahl- und Eisenstückchen vermittelst des Magneten. Arch. f. Augenheilk. X. S. 234.

1882. 5. Fröhlich, Über den Polwechsel beim Gebrauche des Elektromagneten und über die Magnetnadel als diagnostisches Hilfsmittel. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 107.

1890. 6. Fischer, E., Extraktion von Eisensplittern aus dem Glaskörper. Arch. f. Augenheilk. XXII. S. 18.

7. Hirschberg, Über die Ergebnisse der Magnetoperationen in der Augenheilkunde. (Nach 100 eigenen Operationen.) v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 3. S. 37.

8. Gallemaerts, Appareil de Léon Gérard pour la détermination des corps étrangers magnétiques à l'intérieur du globe oculaire. La Clin. 4. année. No. 47. 20. Nov.

9. Gallemaerts, Verhandlung des 10. internat. med. Kongr. Berlin. IV. 2. S. 130.

1891. 10. Gallemaerts, Sur la détermination des corps étrangers ayant perforé le globe oculaire. La Clin. 5. année. No. 16. 23. Avril.

11. Hildebrand, 66 Magnetoperationen mit erfolgreicher Extraktion von 53 Eisensplittern aus dem Augeninnern. Arch. f. Augenheilk. XXIII. S. 278.

1892. 12. Haab, Die Verwendung sehr starker Magnete zur Entfernung von Eisensplittern aus dem Auge. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 163.

1894. 13. Haab, Neuer Elektromagnet zur Entfernung von Eisensplittern. Deutschmann's Beiträge z. Augenheilk. XIII. S. 86.

14. Hürzeler, Über die Anwendung von Elektromagneten bei den Eisensplitterverletzungen des Auges. Deutschmann's Beiträge z. Augenheilk. XIII. S. 20.

15. Gallemaerts, Sur la recherche des corps étrangers magnétiques ayant perforé le globe oculaire avec démonstration du magnétomètre de Gérard. Soc. franç. d'Opht. Séance du 8 mai. S. 143.

16. Schirmer, O., Ist die extraokulare Anwendung der Elektromagnete ungefährlich? Deutsche med. Wochenschr. No. 18. 3. Mai.

17. Asmus, Das Sideroskop. Ein Apparat zum Nachweis der Eisen- und Stahlsplitter im Innern des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XL. S. 280.

18. Asmus, Über die Lokalisation der Eisensplitter im Bulbus mit Hilfe der Magnetnadel. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 126.

1895. 19. Haab, Die Zurückziehung von Eisensplittern aus dem Innern des Auges. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 186.

20. Thier, Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 204. (Diskussion zum Haab'schen Vortrag).

21. Schmidt-Rimpler, Die Anwendung starker Elektromagnete zum Herausziehen von Eisensplittern aus dem Auge. Berliner klin. Wochenschr. No. 40. S. 870.

22. Asmus, Über die genaue Lokalisation großer eiserner und stählerner Fremdkörper im Auge mit dem Sideroskop. Arch. f. Augenheilk. XXXI. S. 49.

23. Asmus, Weitere mit dem Sideroskop gemachte Erfahrungen. Festschr. zur Feier des 70jährigen Geburtstages, Herrn Geh. Rat Prof. Förster gewidmet. Wiesbaden, J. F. Bergmann.

1896. 24. Vossius, Zur Diagnose und Begutachtung von veralteten Unfallverletzungen des Auges durch Stahlsplitter. Ärztl. Sachverst.-Zeitung. No. 7. S. 145.

1897. 25. Hirschberg, Bericht über die im Jahre 1896 bei mir vorgenommenen Magnetoperationen. Deutsche med. Wochenschr. No. 31. S. 489.

26. Mayweg, Aus dem 10. Jahresbericht der Augenheilanstalt des Reg.-Bez. Arnsberg zu Hagen i. W. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Suppl.-Bd. S. 490.

1898. 27. Callan, P. A., The Haab Electromagnet as a Sideroscope. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. XXXIII. S. 456.

28. Sachs, M., Sideroskop und Elektromagnet; ihre Verwendung in der Augenheilkunde. Wiener klin. Wochenschr. No. 43. S. 965.

29. Linde, Elektrische Straßenbahn und das Sideroskop von Asmus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Sept.

30. Hirschberg, Bemerkungen über Magnetoperationen. Berliner klin. Wochenschr. No. 46.

31. Asmus, Das Sideroskop und seine Anwendung. Wiesbaden, J. F. Bergmann.

1899. 32. Axenfeld, Eine kleine Verbesserung am Asmus'schen Sideroskop. v. Zehender's Monatsbl. Sept.

33. Asmus, Über die Diagnostik und Extraktion von Eisensplittern. Sammelreferat. Zeitschr. f. Augenheilk. I, 2. Februar. S. 178.

34. Hirschberg, Vereinfachtes Sideroskop. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. August. S. 245.

35. Asmus, Über Experimente mit einem großen Augenmagnet neuerer Form. Wiener med. Wochenschr. No. 5.

36. Asmus, Die Anwendung des Sideroskopes. Wiener med. Wochenschr. No. 14.

1899. 37. Hirschberg, Die Magnetoperation in der Augenheilkunde. Monographie 2. Aufl. S. 79.

38. Linde, M., Haab's oder Hirschberg's Elektromagnet? Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Januar. S. 1 ff.

39. Schreiber, Zur Magnetextraktion aus dem Augeninnern. Dr. Schreiber's Bericht über seine Augenheilanstalt in Magdeburg.

40. Praun, E., Die Verletzungen des Auges. Wiesbaden, J. F. Bergmann. S. 354.

1900. 41. Coppez, H., et J. Gunzburg, Contribution à l'étude du diagnostic et du traitement des corps étrangers magnétiques intraoculaires. Arch. d'Opht. XX. No. 9. Sept. S. 465.

42. Fehr u. Mendel, Magnetoperationen des Jahres 1899 in der Hirschbergschen Augenklinik. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Januar. S. 10 ff.

43. Knapp, Klinische Erfahrungen mit dem starken (Haab'schen) Elektromagneten. Arch. f. Augenheilk. XL. S. 223.

44. Asmus, Über Diagnostik und Extraktion von Fremdkörpern. Sammelreferat über die deutsche Litt. 1899. Zeitschr. f. Augenheilk. III. S. 328.

45. Glauning, Zwei bemerkenswerte Fälle von Eisensplittern in den vorderen Teilen des Auges. Arch. f. Augenheilk. XLI, 2. S. 225.

46. Bjerke, K., Eine veränderte Form des Sideroskopes von Dr. Asmus. v. Graefe's Arch. f. Ophth. LI, 3. S. 461.

1901. 47. Asmus, Über Diagnostik und Extraktion von Fremdkörpern. Bericht über die Arbeiten des Jahres 1900. Zeitschr. f. Augenheilk. V, 4. April.

48. Coppez, H., u. J. Gunzburg, Beitrag zur Kenntnis der Diagnose und Behandlung der intraokularen Eisensplitter. Zeitschr. f. Augenheilk. VI. 1. Juli. S. 9.

49. Asmus, Meine Erfahrungen mit dem Sideroskop seit Einführung der elektrischen Straßenbahn in Düsseldorf. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Juni.

50. Hirschberg, Das Magnetoperationszimmer. Deutsche med. Wochenschr. No. 19. S. 149. No. 20. S. 318. No. 21. S. 341.

51. Hellgreen, Über die Bestimmung der Lage von Eisensplittern und ihre Entfernung durch den Elektromagneten. Stockholm. Schwedisch. Ref. nach Centralbl. f. Augenheilk. S. 280.

1902. 52. Asmus, Über den Wert der annähernden Größenbestimmung der intraokularen Eisensplitter vor der Elektromagnetoperation. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. März.

53. Mayweg, Über Magnetoperationen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Juli.

54. Gelpke, Über den diagnostischen Wert großer Elektromagnete. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Juli. S. 35.

55. Haab, Über die Anwendung des großen Magneten bei der Ausziehung von Eisensplittern aus dem Auge. Zeitschr. f. Augenheilk. VIII, 6. S. 587 ff.

56. Asmus, Diagnostik und Extraktion von Fremdkörpern. Referat über I. u. II. Semester 1901. Zeitschr. f. Augenheilk. VII, 5. S. 393 ff.

II. Untersuchung mit Röntgenstrahlen.

§ 221. Das Röntgenverfahren hat für die Augenheilkunde eine bemerkenswerte Bedeutung erlangt, seitdem mit Vervollkommnung der Röntgentechnik in den letzten Jahren Methoden angegeben worden sind, die den Nachweis und die Lokalisation intraokularer und intraorbitaler Fremdkörper in zahlreichen Fällen ermöglichen.

Die Untersuchung mit Röntgenstrahlen dürfte stets dann indiziert sein, wenn ein nach Anamnese oder Befund zu vermutender intraokularer oder intraorbitaler Fremdkörper durch andere Hilfsmittel (Ophthalmoskop, Sideroskop u. s. w.) nicht mit genügender Sicherheit diagnostiziert und lokalisiert werden kann; sie findet hauptsächlich Verwendung bei Verletzungen durch Metallsplitter, namentlich Messing- und Kupfersplitter (Zündhütchenverletzungen), Kugeln und Schrotkörner (Schussverletzungen) und Steinpartikel[1]).

Auch wenn das Corpus alienum magnetischer Natur ist, kann das Röntgenverfahren, wie wir oben gesehen haben, zur Kontrolle und Ergänzung der Sideroskopuntersuchung von Wert sein, besonders wenn es sich darum handelt, zu entscheiden, ob der Fremdkörper intra- oder extrabulbär sitzt.

Die Hauptschwierigkeit des Röntgennachweises intraokularer Fremdkörper beruht in deren meist nur geringem Volumen und in der versteckten Lage des zum Teil von den Knochenwandungen der Orbita umgebenen Augapfels. Autoren wie van Duyse (1) waren auch anfangs der Ansicht, dass sich infolge der für Röntgenstrahlen schweren Durchgängigkeit des lateralen Orbitalwalles nur im vorderen Abschnitte des Auges Fremdkörper mit Röntgenstrahlen erkennen ließen. Bald wurde aber durch Stern in Philadelphia (6), Opitz in Hamburg (37), Dahlfeld und Pohrt in Riga (9), Weiss (27, 28) u. a. festgestellt, dass die Möglichkeit besteht, selbst kleinere Fremdkörper in jedem Teile des Auges durch X-Strahlen zu erkennen. So ergaben bereits 1897 Aufnahmen, die Dahlfeld und Pohrt von phthisischen Augen machten, in welche kleine Drahtstückchen eingeführt worden waren, dass noch der Nachweis derselben bei 2,2 bezw. 2,1 mm Länge und 0,4 bezw. 0,3 mm Durchmesser gelang, obwohl ihre Bilder auf der Platte in den Schatten der oberen Hälfte des lateralen Orbitalrandes fielen. Dieselben Autoren diagnostizierten bei einem Patienten mit verletztem Bulbus ein Eisensplitterchen von nur 0,008 g, dessen Schatten ebenfalls in dem des äußeren Orbitalwalles lag und dennoch erkennbar war.

Sweet (14) und Mackenzie Davidson (22, 36, 43) haben sich vor allem mit Erfolg damit beschäftigt, Methoden auszuarbeiten, die gestatten, intraokulare Fremdkörper exakt zu lokalisieren.

Bezüglich der für Röntgenuntersuchungen überhaupt erforderlichen Kenntnisse und notwendigen Apparate und Vorrichtungen verweise ich auf die Lehrbücher der Röntgenuntersuchung Gocht (37), Albers-Schönberg (68), Stechow (69). Hier seien nur einige speziell für die Röntgoskopie und Röntgographie des Auges wesentliche Momente hervorgehoben.

1) Glassplitter sind nur selten (Mackenzie Davidson 46), Holzsplitter überhaupt nicht mit Röntgenstrahlen zu erkennen.

Es ist zweckmäßig, der röntgographischen Untersuchung eine röntgoskopische vorauszuschicken, da man zuweilen in positiven Fällen schon mit Hilfe des Durchleuchtungsschirmes rasch die Frage über Anwesenheit und ungefähren Sitz des Fremdkörpers beantworten kann.

Die Schirmdurchleuchtung nimmt man mit vollkommen ausgeruhtem Auge im verdunkelten Zimmer vor. Der Patient sitzt auf einem Stuhle, die gesunde Schläfenseite des gut fixierten Kopfes ist der Vakuumröhre zugewandt, während der Bariumplatincyanürschirm der Schläfe des verletzten Auges angeschmiegt wird. Zur leichteren Orientierung auf dem Schirm befestigt man in der Umgebung des verletzten Auges in ähnlicher Weise, wie im folgenden bei dem röntgographischen Verfahren beschrieben ist, ein oder mehrere für X-Strahlen möglichst undurchgängige Objekte (Metallstreifen, Drahtstücke u. s. w.). Um nicht von den peripheren, direkt von den Röntgenstrahlen getroffenen Partien des Schirmes geblendet zu werden, bedeckt man die Schichtseite des Schirmes nach Gocht's (37) Vorschlag mit einem schwarzen Kartonrahmen, der nur einen relativ kleinen centralen Ausschnitt freilässt, wie er für die Durchmusterung der Augenhöhle genügt.

Fällt die Durchleuchtung negativ aus, so ist dies natürlich kein Beweis für die Abwesenheit des Fremdkörpers, denn es ist bekannt, dass sich kleine Fremdkörper — und um solche handelt es sich ja meistens bei Augenverletzungen — der Schirmuntersuchung nicht selten entziehen, während sie auf der Platte deutlich wahrnehmbare Schatten erzeugen.

Der einleitenden röntgoskopischen Orientierung folgt die röntgographische Darstellung, deren Resultate exaktere und objektivere sind als die der Schirmuntersuchung; hat doch die photographische Platte, wie Gocht in seinem Lehrbuche sagt, »den großen Vorzug vor dem menschlichen Auge, die schnell aufeinander folgenden unzähligen Lichteindrücke in sich zu sammeln, zu addieren und so ein vollkommeneres Bild nach einer gewissen Zeit darzubieten, als es das Schirmbild kann«.

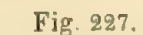
Für den sicheren photographischen Nachweis auch kleinerer intraokularer Fremdkörper ist die wesentlichste Bedingung ein scharfes Bild. Die Schärfe des Bildes hängt aber, abgesehen von tadellos arbeitendem Röntgenmaterial (Kompressionsblende nach Albers-Schönberg [68]), vor allem ab von absolut ruhiger Haltung des Kopfes und Auges des Patienten während der Aufnahme.

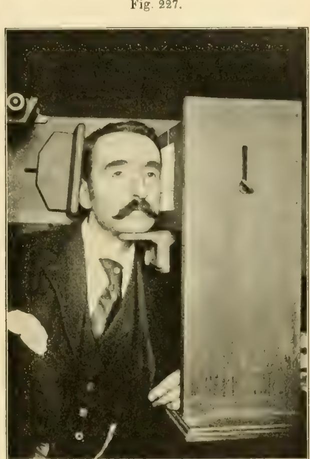
Die Immobilisierung des Kopfes wird von einem Teil der Autoren (Hellgreen 55, Albers-Schönberg 68 u. a.) in Seitenlage des horizontal auf dem Untersuchungstisch liegenden Patienten vorgenommen. Der Schultervorsprung wird durch entsprechend höhere Lagerung des Kopfes (Unterschieben einer oder mehrerer Holzplatten) ausgeglichen. Gegen Stirn, Hinterkopf und Kinn legt man Sandsäcke von passender Form und verhindert so bis zu einem gewissen Grade namentlich unwillkürliche Kopfbewegungen

(Zittern, respiratorische und durch die Herzaktion bedingte Verschiebungen) (**Albers-Schönberg** 68).

Die Röhre befindet sich an einem Gestell über der gesunden Schläfenseite, die Platte unter der anderen, auf der Unterlage ruhenden Schläfe, eventuell in einer Holzkassette mit Einschieberahmen für die Platten, so dass beim Wechseln der Platten jede Verschiebung des Kopfes vermieden wird.

Andere Autoren, wie **Mackenzie Davidson** (43) und **Sjögren**-Stockholm (67), setzen den Patienten auf einen Stuhl und fixieren den Kopf durch speziell für diesen Zweck konstruierte Vorrichtungen schraubstockartig von beiden Seiten, von unten (Kinnstütze) und von hinten (Kopflehne), während die Arme bequem auf Armstützen ruhen und der Rücken sich gegen die Stuhllehne anlegt (s. Fig. 227).





(Nach Mackenzie Davidson.)

Die Bewegungen des Auges lassen sich am besten dadurch ausschalten, dass der Patient während der Dauer der Exposition geradeaus blickend ein bestimmtes, ihm anzugebendes Objekt unentwegt fixiert. Da sich das verletzte Auge nicht selten in heftigem Reizzustand befindet, ist diese Forderung oft nicht leicht zu erfüllen und eine möglichst kurze Belichtungsdauer wünschenswert. Wir werden also den Abstand zwischen Platte und Lichtquelle nicht zu groß wählen; denn bekanntlich nimmt nach **Röntgen**'s Untersuchungen die Intensität der X-Strahlen annähernd proportional mit dem Quadrate der Entfernung ab. Wenn nun auch die Größenverhältnisse des Skiagramms bei größerem Abstande der Röhre von der Platte wahrheitsgetreuere sind, so dürfte sich doch mit Rücksicht auf die Expositionsdauer empfehlen, die von **Weiss** vorgeschlagene Entfernung von 40 cm nicht wesentlich zu überschreiten. **Mackenzie Davidson** wählt einen Abstand von nur 28—30 cm.

Präcise Vorschriften für die Belichtungsdauer lassen sich begreiflicherweise nicht geben, da sie je nach der Qualität des Röntgenmaterials und der verschiedenen Durchlässigkeit der Schädelknochen verschiedener Individuen schwanken muss, doch dürfte bei Verwendung einer mittelweichen Röhre für bitemporale Aufnahmen eine durchschnittliche Expositionsdauer von ca. $^1/_2$—1 Minute genügen (Albers-Schönberg 68).

In anbetracht der durchaus nicht leichten Orientierung in den teilweise sich deckenden und kreuzenden Knochenschatten des vorderen Schädelskelettes ist es zweckmäßig, nach dem Vorgange zahlreicher Autoren in der Umgebung des beschädigten Auges ein oder mehrere Orientierungsobjekte, sogenannte »Indikatoren« (z. B. kleine Bleidrahtstücke), anzubringen, die sich zum Augapfel in einer ganz bestimmten relativen Lage befinden und so als Ausgangspunkt für die Lokalisation des Corpus alienum dienen können. Mackenzie Davidson z. B. befestigt ein ca. 1 cm langes, senkrecht stehendes Drahtstück mit einem Heftpflasterstreifen am unteren Augenlide genau unter dem Centrum der Pupille des geradeaus blickenden Auges, Hellgreen (55) markiert sich durch zwei kleine Metalldrähte den vertikalen und horizontalen Meridian. Aus dem Lageverhältnis des Fremdkörperschattens zu den Schatten der Indikatoren auf der Platte kann man dann annähernd die horizontale und frontale Ebene des Auges bezw. der Orbita bestimmen, in welcher der Fremdkörper liegen muss. Um auch die sagittale Ebene zu finden, ist eine zweite bitemporale Aufnahme erforderlich, für welche die Röhre um mehrere Centimeter verschoben wird, während das kranke Auge seine Lage beibehält. Aus der Lageverschiebung des Fremdkörperschattens und der Orientierungsobjektschatten bei der zweiten Aufnahme findet man auf geometrischem Wege (Sweet 14) oder mechanisch-konstruktivem Wege (Mackenzie Davidson 36) auch die dritte zur Ortsbestimmung des Corpus alienum notwendige Ebene.

Statt durch zwei bitemporale Aufnahmen können größere Fremdkörper auch durch eine bitemporale und eine fronto-occipitale Aufnahme lokalisiert werden, kleinere Fremdkörper sind jedoch bei fronto-occipitalen Röntgographien häufig nicht erkennbar (Weiss 45), da das Os occipitale zu dick ist, um kontrastreiche Strahlen in genügender Menge durchzulassen (Albers-Schönberg 68).

Die Mackenzie Davidson'sche Lokalisationsmethode, welche außer mit dem Orientierungsobjekt noch mit einem der Schläfe des verletzten Auges angelegten Drahtkreuz arbeitet, sei als Paradigma etwas näher besprochen[1]).

1) Vgl. auch die Schürmayer'sche Modifikation des Davidson'schen Verfahrens (56).

Der Patient sitzt auf einem Stuhl, dessen Lehne den Rücken stützt. Die Platte befindet sich in einem Rahmen, über den zwei sich rechtwinklig kreuzende Drähte (ein horizontaler und ein vertikaler) gespannt sind, und liegt der Schläfe des verletzten Auges an (Fig. 227); die Lage des Drahtkreuzes wird auf der Schläfenhaut mit Tintenstift markiert.

Der Kopf des Patienten ist wie oben beschrieben (Fig. 227) fixiert, die Blicklinie des verletzten Auges, an dessem unteren Lide das erwähnte Drahtstück als Indikator befestigt ist, wird so dirigiert, dass sie parallel zu dem horizontalen Draht verläuft.

Die Vakuumröhre befindet sich in ca. 28—30 cm Abstand von der Platte auf einer horizontalen, mit Skala versehenen Stange, in gleicher Höhe wie der horizontale Draht und parallel zu demselben verschiebbar. Ein von der auf den Nullpunkt der Skala eingestellten Antikathode auf die photographische Platte gefälltes Lot würde den Kreuzungspunkt der beiden Drähte treffen.

Für die erste Aufnahme wird die Röhre 3 cm vorwärts geschoben, für die zweite 6 cm von der ersten Belichtungsposition aus zurück. Während beider Aufnahmen, für die man sich entweder derselben oder zweier verschiedener Platten bedient, behält das Auge seine Lage unverändert bei.

Mit Hilfe eines besonderen Apparates, des »Cross-thread localiser«, werden die entwickelten Negative in dieselben Projektionsverhältnisse gebracht, unter denen sie entstanden sind:

Über einer wagerecht liegenden, von unten mit einem Spiegel beleuchteten Glasplatte, in die zwei sich rechtwinklig schneidende Geraden eingeritzt sind, befindet sich eine horizontale, mit einer Skala versehene Stange, deren Rand parallel zu einer der Geraden verläuft und deren Halbierungspunkt (Nullpunkt der Skala) lotrecht über dem Kreuzungspunkt der Geraden liegt.

Diese horizontale Stange wird an zwei vertikalen Säulen so eingestellt, dass der Abstand ihres Halbierungspunktes vom Kreuzungspunkt der Geraden gleich ist dem Abstande der Antikathode vom Kreuzungspunkte der Drähte.

Man legt die photographische Platte mit dem Doppelbild so auf die Glasplatte, dass das Bild des Drahtkreuzes sich mit dem Kreuz der Glasplatte genau deckt. Hat man sich zweier verschiedener Platten bedient, so ritzt man zunächst auf eine Celluloidplatte das Bild des Drahtkreuzes und die auf den beiden Platten sichtbaren Schatten des Fremdkörpers und Indikators ein und placiert dann die Celluloidplatte in gleicher Weise auf die Glasscheibe des Apparates.

Mit feinen Drahtfäden imitiert man nun den Verlauf der Grenzstrahlen, die bei den beiden Aufnahmen vom Centrum des Antikathodenspiegels nach den Endpunkten des Fremdkörpers resp. Indikators verliefen; man verbindet die den beiden Expositionsstellungen der Antikathode entsprechenden Punkte

der Skala mit je den zugehörigen Schatten des Fremdkörpers und des Orientierungsdrahtes. Der Kreuzungspunkt der zu den beiden Fremdkörperschatten führenden Drähte muss den Ort des Fremdkörpers darstellen, der Kreuzungspunkt der zu den Schatten des Indikators verlaufenden Fäden den Ort des letzteren bezeichnen.

Zur Bestimmung der Lage beider Orte im Raum und ihrer relativen Lage zu einander misst man ihren Abstand von der Glasplatte und den beiden Ebenen, die durch die sich kreuzenden Geraden senkrecht zur Glasplatte verlaufen.

Dann giebt man dem Kopf des Patienten genau dieselbe Stellung, die er bei der Aufnahme eingenommen hatte, lässt ihn in die gleiche Richtung blicken und kann sich, ausgehend von dem am unteren Lide befestigten Indikator, eine exakte Vorstellung von der Lage des intraokularen Fremdkörpers bilden. Der Fremdkörper liegt die gefundene Anzahl Millimeter nasal oder temporal, ober- oder unterhalb von dem oberen Ende des Orientierungsdrahtes, und so und so viel Millimeter dorsalwärts von dem gefundenen Punkte aus, auf der durch letzteren parallel zu dem horizontalen Draht verlaufenden Geraden.

Im Gegensatz zu Mackenzie Davidson lässt Grossmann (42) die Vakuumröhre bei beiden bitemporalen Aufnahmen ihre Lage beibehalten, das kranke Auge dagegen verschiedene Blickrichtungen einnehmen.

Der Patient sieht bei der ersten Durchleuchtung nach unten, bei der zweiten, ohne den Kopf zu bewegen, nach aufwärts.

Rückt bei der zweiten Aufnahme der Schatten des Fremdkörpers nach oben, macht er also eine der Augenbewegung gleichsinnige Bewegung, dann befindet sich der Fremdkörper offenbar in der vorderen Hälfte des Augapfels und umgekehrt. Bewegt sich der Schatten nach vorwärts, so muss der Fremdkörper in der unteren Augenhälfte sitzen, bewegt er sich nach rückwärts, in der oberen. Verändert der Schatten bei der zweiten Aufnahme seine Lage nicht, so gehört der Fremdkörper entweder dem Auge gar nicht an oder liegt in der Drehungsachse des Auges. Um dies zu unterscheiden, fertigt man ein zweites Paar Skiagramme an, und zwar so, dass man den Patienten bei der ersten Aufnahme temporal, bei der zweiten nasal blicken lässt. Geht der Schatten vorwärts, dann ist der Fremdkörper in der nasalen Hälfte und umgekehrt. Hat der Schatten bei allen vier Aufnahmen die gleiche Lage beibehalten, so liegt der Fremdkörper extraokular oder im Rotationscentrum des Auges. In letzterem Falle wird man eventuell eine Veränderung der Form des Schattens finden.

Als weiteres Hilfsmittel zur Lagebestimmung intraokularer Fremdkörper empfahl Mackenzie Davidson (41, 43) die stereoskopischen Röntgen-

aufnahmen (LAMBERTZ 51), die man gewinnt, indem man nacheinander von zwei um die Länge der Augendistanz voneinander entfernten Punkten das zu untersuchende Objekt röntgographisch abbildet. Die beiden Negative werden entweder direkt mit besonders konstruierten Stereoskopen betrachtet oder zunächst mit dem photographischen Apparat so verkleinert, dass sie für die gewöhnlich gebrauchten kleinen Stereoskope passen, und dann mit einem solchen zu einem körperlichen Bilde vereinigt.

Will man sich vor irrigen Deutungen der Skiagramme schützen, so begnüge man sich niemals mit nur einer Aufnahme; Fehler in der Platte können nur zu leicht die Anwesenheit eines Corpus alienum vortäuschen, andererseits entzieht sich ein kleiner Fremdkörper nicht selten bei der ersten Aufnahme der Beobachtung, namentlich wenn sein Bild mit dem des äußeren Orbitalwalles zusammenfällt oder infolge unruhiger Haltung des verletzten Auges unkenntlich geworden ist. Auch sehr feine längliche Splitter, die bei der ersten Durchleuchtung von den Strahlen genau im Sinne der Längsrichtung getroffen werden, können zunächst ein negatives Resultat liefern, während sie bei einer zweiten unter anderem Winkel vorgenommenen Aufnahme deutlich zum Vorschein kommen.

Am Schlusse bleibt noch zu erwähnen, dass das Röntgenverfahren außer zum Nachweis intraokularer und intraorbitaler Fremdkörper in der Augenheilkunde auch noch Verwendung findet zur Diagnose von Frakturen und knöchernen Tumoren der Orbita[1].

Litteratur.

1896. 1. van Duyse, Les rayons Roentgen en chirurgie oculaire. Arch. d'Opht. XVI. Belgique méd. 5 mars. S. 101.

2. Darier, Perméabilité de l'oeil aux rayons Roentgen. Rev. gén. d'Opht. S. 153.

3. Lewkowitsch, H., Roentgen rays in ophth. surgery. Lancet. II. S. 152.

4. Williams, R., Extraction from vitreous of copper fragment located by X. ray's. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-second Ann. Meet. S. 708.

5. Clarke, C. F., Localisation of fragment of steel in the eye. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-second Ann. Meet. S. 711.

1897. 6. Stern, Amer. Journ. Med. Sc. Nov. (Reported by Hansell). Cod. med. Febr. (Reported by Ring).

7. de Schweinitz, Amer. Journ. Med. Sc. May.

8. Exner, Eine Vorrichtung zur Bestimmung von Lage und Größe eines Fremdkörpers mittelst Röntgenstrahlen. Wiener klin. Wochenschr. 7. Januar.

1) Bezüglich der Diagnose intraokularer Tumoren vgl. GRUNMACH und HIRSCHBERG (50).

1897. 9. Dahlfeld und Pohrt, Der Nachweis von Fremdkörpern im Auge mit Hilfe der X-Strahlen. Deutsche med. Wochenschr. 23. Jahrg. No. 18. S. 282.

10. Friedenberg, P., Über einen Fall von Schussverletzung beider Augen. Nachweis der Fremdkörper mittelst Röntgen-Photographie. Deutsche med. Wochenschr. No. 45.

11. Friedmann, A., Über die Anwendung von Röntgenstrahlen zur Feststellung von Fremdkörpern im Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXXV. S. 340.

12. Galezowski, Des rayons Roentgen en ophtalmologie et de leur emploi pour la découverte des corps étrangers dans l'oeil. Rec. d'Opht. S. 68.

13. Oliver, The value of repeated and differently-placed exposures to the Roentgen rays in determining the location of foreign bodies in and about the eyeball. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-third Ann. Meet. S. 90.

14. Sweet, Apparatus for dertermining the situation of foreign bodies in the eye. College of Phys. of Philadelphia. Ophth. Section. Ophth. Rev. S. 141.

15. Thomson, Removal of piece of steel located by rays from interior of eyeball. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-third Ann. Meet. S. 93.

1898. 16. Kibbe, Die Nützlichkeit der X-Strahlen für die Entdeckung und Lokalisation intraokularer Metallteile. Arch. f. Augenheilk. XXXVIII. (Übersetzt aus Arch. of Ophth. XXVI, 3. 1897.)

17. Boucheron, Radiographie de l'orbite. Soc. d'Opht. de Paris, séance du 7 décembre.

18. Stöckl, Fremdkörper im Bulbus, Lokalisation mit Röntgenstrahlen. Wiener klin. Wochenschr. No. 7.

19. Blondeau, Corps étranger de l'orbite (balle de revolver); radiographie. Ann. d'Ocul. CXX. S. 48.

20. Clarke and Mackenzie Davidson, Chip of steel in the eye, with Skiagraphie. Ophth. Rev. S. 155.

21. Lang, W., Value of X-Rays examination. Ophth. Rev. S. 191.

22. Mackenzie Davidson and Treacher Collins, The localisation of foreign bodies in the eye and orbit by means of the Roentgen rays. Ophth. Rev. S. 54 and Lancet. I. S. 438.

23. de Schweinitz, A piece of steel located in the vitreous by means of the Roentgen rays according to Sweets method. Ophth. Rec. No. 7.

24. Starkey, On the x-rays in ophthalmologie. Ophth. Rec. S. 43.

25. Starr, Steel in the vitreous located by means of the x-rays. Ophth. Rec. No. 7.

26. Sweet, The Roentgen rays in ophthalmic surgery. Amer. Journ. of the Med. Sc. No. 2. S. 191 u. Arch. f. Augenheilk. XXXVIII, 3. S. 275.

27. Weiss, L., Über den Nachweis von in das Augeninnere eingedrungenen Fremdkörpern durch Röntgenstrahlen. Ophth. Klinik. II. No. 5 u. 6.

28. Weiss, L., Weitere Mitteilungen über die Nachweisbarkeit von Fremdkörpern im Auge mittelst Röntgenstrahlen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 350.

29. Ginsburg, Versuch der Anwendung der Röntgenstrahlen zum Nachweis von Fremdkörpern im Auge. Westnik Ophth. No. 1.

30. de Schweinitz, On the Roentgen rays. Section on ophth. College of Physicians of Philadelphia. March 5. Ophth. Rec. VII, 5. S. 242.

31. Sweet, Locating foreign bodies in the eye by means of the Roentgen rays. Ann. of Ophth. VII, 2. S. 171.

32. Hansell, Howard, F., The Roentgen rays in ophthalmic surgery. Journ. of the Amer. Med. Sc. Jan. 1.

33. Lonard, C. L., Methods of precision in locating foreign bodies in the head by means of the Roentgen rays, with special reference to foreign bodies in the eye. Ann. of Ophth. VII, 2. S. 161. Ophth. Rec. May.

1898. 34. Hellgreen, Taa fall of främande kropp i ögat diagnosticerade med Roentgenstralar. Hygiea. Nov.

35. Sweet, The value and method of determining the precise location of pieces of metal in the eye by means of Roentgen rays. Arch. of Ophth. XXVII, 4. S. 377 u. Arch. f. Augenheilk. XXXVIII, 3. S. 273.

36. Mackenzie Davidson, Procédé de localisation des corps étrangers par les rayons de Roentgen. Ann. d'Electrobiologie, d'Electrothérapie et d'Electrodiagnostic. 15. Mai. S. 354 ff.

37. Gocht, Lehrbuch der Röntgenuntersuchungen. Stuttgart.

1899. 38. Sweet, Locating foreign bodies in the eye; result of 2 years work with the Roentgen rays. Philadelphia med. Journ. 14. Okt.

39. de Schweinitz, Foreign body in the lens located with Roentgen rays. Section on Ophth. College of Physicians of Philadelphia. Jan. 7. Ophth. Rec. S. 141.

40. Foveau de Courmelles, Les rayons X en optique et en ophtalmologie. Rec. d'Opht. Janv. S. 5 u. 77.

41. Mackenzie Davidson, On the stereoscop. examination of skiagraphs of foreign bodies in the eye and orbit. Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. 4. Februar. (Ref. Centralbl. f. Augenheilk.)

42. Grossmann, K., On the localisation of foreign bodies in the eye by x-rays. Sitzungsbericht d. 9. internat. ophth. Kongr. zu Utrecht. S. 123.

43. Mackenzie Davidson, J., Localisation of foreign bodies in eyeball and orbit by means of Roentgen rays. Sitzungsbericht d. 9. internat. ophth. Kongr. zu Utrecht. S. 114 ff.

44. Groenouw, Schussverletzung der Augenhöhle mit Nachweis des Geschosses durch Röntgenstrahlen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Mai.

45. Weiss und Klingelhöfer, Welchen Wert hat die Röntgenphotographie für den Nachweis von Fremdkörpern im Augeninnern? Arch. f. Augenheilk. XXXIX, 4. S. 291.

46. Mackenzie Davidson, Radiographie d'un morcau de verre localisé dans le globe oculaire. Soc. opht. du royaume-uni, séance du 4 mai.

47. Coppez, Corps étranger intraoculaire, localisation par la radiographie. Clin. Opht. No. 7 und Presse méd. Belg. No. 7.

1900. 48. Kibbe, Magnetoperation und Röntgenbilder bei intraokularen Fremdkörpern. Arch. f. Ophth. Jan.

49. Mock, Über einen Fremdkörper im Augeninnern, dessen Bestimmung mit Röntgenstrahlen und Magnetextraktion. Münchener med. Wochenschrift. No. 27.

50. Grunmach und Hirschberg, Über Röntgenbilder von Geschwülsten des Augeninnern. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 336 ff. (Berliner ophth. Ges. Oktobersitzung.)

51. Lambertz, Die Perspektive in den Röntgenbildern und die Technik der Stereoskopie. Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstr. IV. S. 1 ff.

52. Baschkopf, Über die Verwendung von Röntgenstrahlen in der Medizin zum Zwecke der Diagnose und Therapie von Fremdkörpern. Polnisch. Nowing lekarskie. No. 10. (Ref. nach Nagel's Jahresber.)

53. Bourgeois, Quelques expertises radiographiques à propos de corps étrangers de l'oeil et de l'orbite. Ann. d'Ocul. CXXVI. S. 360. (Ref. nach Nagel's Jahresber.)

54. Mackenzie Davidson, Demonstration eines stereoskopischen Fluoroskopes. Röntgenges. London. 6. Dez. (Ref. Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstr. IV. S. 191.)

1901. 55. Hellgreen, Über die Bestimmung der Lage von Eisensplitterchen im Auge und ihre Entfernung durch den Elektromagneten. Stockholm. Schwedisch.) Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 280.

1901. 56. Schürmayer, B., Eine Vereinfachung und Abänderung des Verfahrens nach Davidson zur Bestimmung der Lage von Fremdkörpern im Organismus durch Doppel-Röntgenphotographie. Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstr. IV. S. 81 ff.

57. Franke, Zur Kenntnis der metallischen Fremdkörper im Auge. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dez.

58. Hirschberg, Doppelte Durchbohrung des Auges durch einen Eisensplitter, der in die Orbita drang. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juli.

59. Hirschberg, Das Magnetoperationszimmer. Deutsche med. Wochenschr. No. 19 ff.

1902. 60. Franke, Myxosarkom der Orbita im Röntgenbilde erkennbar. Ärztl. Verein Hamburg. Sitzung vom 18. März. Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstr. V. S. 312.

61. Terrien, F., und Beclère, Valeur de la radiographie et de la radioscopie, pour la détermination du siège des corps étrangers dans l'orbite. Clin. Opht. No. 1. S. 6—8.

62. Franke, Zur Diagnose und Behandlung retrobulbärer Erkrankungen. Bericht über d. Verh. d. ophth. Ges. zu Heidelberg.

63. Asmus, Diagnostik und Extraktion von Fremdkörpern. Referat I. u. II. Semester 1901. Zeitschr. f. Augenheilk. VII, 5. S. 393 ff.

64. Bourgeois, H., Radioscopie et radiographie. Clin. Opht. No. 3. S. 41.

65. Lans, L. J., Demonstrative van Röntgen-photografien. Nederl. Tijdschr. voor Geneesk. II. S. 174. (Ref. Zeitschr. f. Augenheilk. S. 322.)

66. Lehmann, H., und Cowl, Totale Durchbohrung des Augapfels durch einen Eisensplitter nebst einem Beitrag zur Röntgendiagnostik. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Oktober.

67. Sjögren, Ein Aufnahmestuhl für Kopfröntgogramme. Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstr. VI. S. 86.

1903. 68. Albers-Schönberg, Die Röntgentechnik. Lehrbuch für Ärzte und Studierende. Hamburg, Lukas Gräfe & Sillem.

69. Stechow, Das Röntgenverfahren mit besonderer Berücksichtigung der militärischen Verhältnisse. Bibliothek von Coler. XVIII. Berlin, Aug. Hirschwald.

XII. Ortsbestimmung des Auges.

Nach der ersten Auflage von Snellen-Landolt

bearbeitet von

Dr. F. Langenhan,

Oberarzt in Hannover, früher I. Assistent an der Augenklinik von Dr. E. Landolt, Paris.

Mit Fig. 228—236.

§ 222. Die Ortsbestimmung des Auges hat ihre Bedeutung namentlich in Fällen, wo das Auge durch Geschwülste, entzündliche Prozesse (Exsudate, Abscesse), Morbus Basedowii oder Verletzungen (Blutungen) aus seiner Lage gedrängt worden ist, oder wo Lähmungen von Augenmuskeln und Operationen an denselben den Ort des Augapfels verändert haben. Die Kenntnis des horizontalen Abstandes der Augen ist besonders für die exakte Brillenverordnung unentbehrlich.

Die Verlagerung eines Auges kann stattfinden längs der Sagittal-, Vertikal- und Frontalachse.

Zur Messung der Protrusion eines Auges (Exophthalmus), der am häufigsten vorkommenden pathologischen Abweichung des Bulbus von seiner normalen Lage in der Orbita, kann man entweder Teile des umgebenden Schädelskelettes oder den Hornhautscheitel des anderen Auges heranziehen; auf erstere Weise bestimmt man die sogenannte exorbitale oder absolute Protrusion, auf letztere die relative Protrusion[1]).

Als Ausgangspunkte für die Untersuchung der exorbitalen Protrusion dienen namentlich gewisse Punkte des Orbitalrandes. Da jedoch die Form der Augenhöhle und die Lage des Auges in seiner Orbita selbst bei demselben Individuum nicht unbeträchtliche physiologische Schwankungen zeigen, dürfen diese Prominenzmessungen nur mit größter Vorsicht zur Diagnose eines pathologischen Zustandes verwendet werden. Wertvoll für den Kliniker sind vor allem zu verschiedenen Zeiten vorgenommene vergleichende Bestimmungen an demselben Auge, durch die er kontrollieren kann, ob im Verlauf einer Krankheit eine Zu- oder Abnahme der Vortreibung stattgefunden hat.

H. Cohn (3, 4) war der erste Forscher, der in genauerer Weise die Protrusion des Auges zu messen versuchte. Er benutzte dazu ein Instrument, das er Ophthalmoprostatometer, später Exophthalmometer nannte, und wählte als Vergleichspunkt die Stelle des oberen Orbitalrandes, die sich senkrecht über der Pupille des geradeaus sehenden Auges befindet[2]).

Liegt der Hornhautscheitel in derselben Frontalfläche mit diesem Punkte, so ist nach Cohn die Protrusion $P = 0$, liegt er vor derselben, so ist $P = + x$ mm, liegt er hinter derselben, so ist $P = - x$ mm.

Das alte Cohn'sche Instrument besteht aus einer vertikal zu haltenden Handhabe, die zwei Arme trägt. Der eine dient dazu, mit Hilfe eines kleinen Hakens die senkrecht über der Pupille befindliche Stelle des Supraorbitalrandes zu bezeichnen, der andere, schläfenwärts gerichtete Arm trägt eine senkrecht zur Frontalebene gestellte Skala. Über dieselbe lässt sich ein Diopter verschieben, den man auf das Ende des Hakens und dann auf den Scheitel der Cornea einstellt. Die Entfernung zwischen den beiden Einstellungspunkten entspricht der gesuchten Größe.

Bei den von Cohn untersuchten Personen lag der Hornhautscheitel im Normalzustand zwischen 0 und 5 mm hinter dem oberen Orbitalrand[3]). In

1) Von enorbitaler Protrusion spricht man nach v. Hasner (2), wenn mit dem Auge auch die Orbita protuberiert.

2) Nach Cohn (26) soll der obere Orbitalrand weniger anatomischen Schwankungen unterworfen sein als der äußere. Durch die Messungen Rieger's ist jedoch nach Stölting (27) bewiesen, dass beide Orbitalränder gleiche Asymmetrien aufweisen.

3) Nach Fuchs (33) ist unter normalen Verhältnissen die Lage des Bulbus in der Orbita »durchschnittlich so, dass ein Lineal, welches man in vertikaler Richtung an den oberen und unteren Orbitalrand anlegt und andrückt, durch die geschlossenen Lider den Hornhautscheitel wohl berührt, jedoch das Auge nicht merklich drückt«.

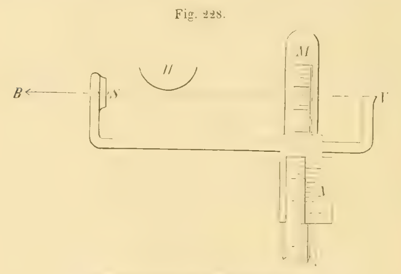
pathologischen Fällen fand er eine positive Protrusion bis zu 12 mm, eine negative bis zu 10 mm.

Emmert (9), Keyser (10), Volkmann (8) und v. Zehender (11) haben ähnliche Instrumente angegeben. Dieselben bestehen im wesentlichen aus einem eingeteilten Stabe, auf welchem sich ein Visier verschieben lässt, das man nacheinander auf den Scheitel der Hornhaut und auf einen in gleicher Höhe gelegenen Punkt des äußeren Orbitalrandes richtet, während sich das Ende des Stabes auf die Schläfengegend stützt.

Volkmann (8) las den Stand des Orbitalrandes und des Hornhautscheitels mit Hilfe eines Fernrohres ab.

Der von W. v. Zehender (11) angegebene Apparat (Fig. 228) ermöglicht ein genaueres Visieren des Cornealscheitels. Er besteht aus einem eingeteilten Stab, dessen Nullpunkt dem äußeren Orbitalrande entspricht. An

Fig. 228.



Exophthalmometer von W. v. Zehender.

dem mit einem Nonius N versehenen Visierzeichen V befindet sich, durch einen gebogenen Arm getragen, ein Spiegelchen S, welches an die Nasenseite des Auges H zu liegen kommt und seine reflektierende Fläche parallel dem eingeteilten Stabe M, dem Auge zuwendet. Man stellt den Visierpunkt so ein, dass der Scheitel der Cornea und das Spiegelbild B von Cornealscheitel und Visierpunkt in eine Gerade fallen. Dem Auge gegenüber ist ein zweites Spiegelchen angebracht, worin das Auge, falls es überhaupt sehtüchtig ist, sein eigenes Spiegelbild fixieren muss, um seine Unbeweglichkeit zu sichern.

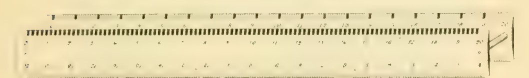
Eine recht praktische Modifikation dieses v. Zehender'schen Exophthalmometers hat Stölting (27) angegeben. Der Maßstab seines Instruments lässt sich gegen den Druck einer Feder in einen Griff zurückschieben, der zwei rechtwinklig gebogene Arme trägt, von denen der eine in eine scharfe Schneide ausläuft, der andere als Support für den Spiegel dient;

letzterer lässt sich je nach der Größe der Lidspalte von dem Griffe entfernen oder ihm nähern. Man fasst den Griff mit der Hand, stemmt das freie Ende des Maßstabes gegen den äußeren Orbitalrand und lässt den Stab so weit in den Griff hineingleiten, bis die Schneide, der Cornealscheitel und das Spiegelbild in einer Geraden liegen. Zur Führung des Instrumentes ist nur eine Hand nötig.

v. Hasner (7) benutzte seinerzeit zum Visieren des äußeren resp. oberen Orbitalrandes und des Hornhautscheitels zwei quadratische Rahmen, die in einem gegenseitigen Abstande von 43 mm, parallel zu einander, aufgestellt und in gleicher Weise durch horizontal und vertikal gespannte Fäden von 8 mm Entfernung in ein Koordinatensystem eingeteilt waren. Über die miteinander korrespondierenden Fäden visierte er die Punkte, von denen festzustellen war, um wieviel der eine den anderen überragte. v. Hasner nannte das Instrument »Orthometer«.

Das einfachste Instrument zur raschen, annähernd genauen Bestimmung der Protrusion ist die über 20 Jahre mit Erfolg in der Klinik meines hochverehrten Lehrers, Dr. Edmund Landolt, benutzte Landolt'sche »Double règle« (Fig. 229). Sie besteht aus zwei, in 2 cm Abstand parallelen und fest miteinander verbundenen Linealen.

Fig. 229.



E. Landolt's Doppellineal.

Dieselben sind in Millimeter geteilt und so gestellt, dass die idealen Verbindungslinien der Teilstriche der beiden Lineale zu denselben senkrecht stehen.

Zur Bestimmung der Protrusion legen wir das Ende des einen Lineals senkrecht zur Frontalebene fest an den äußeren Orbitalrand, so dass derselbe dem Nullpunkt beider Einteilungen entspricht, und brauchen dann nur den Linien entlang zu visieren, bis wir den Teilstrich gefunden haben, der auf beiden Linealen mit dem Hornhautscheitel zusammenfällt.

Mit demselben Instrument kann man auch die Abweichung des Auges in der Frontalebene, sowie den Abstand zwischen beiden Augen messen.

In neuester Zeit haben Sattler und Hering (37) ein stabiles »Exophthalmometer« konstruiert, das ebenfalls den äußeren Orbitalrand zum Ausgangspunkt der Messungen nimmt und mit Hilfe eines Fernrohres die Lage

des Hornhautscheitels in außerordentlich exakter Weise zu bestimmen gestattet.

Wie Fig. 230 und 231 zeigen, besteht der Apparat aus einem Stativ, welches das Mittelteil, eine durch den Trieb *g* verschieden hoch stellbare horizontale Stange trägt, an welcher die Seitenteile, zwei zum Mittelteil rechtwinklige, durch die Triebe *i* seitlich bewegbare horizontale Arme befestigt sind.

Fig. 230.



Exophthalmometer von Sattler-Hering. (Nach Birch-Hirschfeld.)

Die Seitenarme sind mit einer Millimeterskala versehen und tragen je ein, durch den Trieb *d* vor- und rückwärts bewegbares, mit Faden versehenes Fernrohr, das durch den Trieb *e* gehoben und gesenkt werden kann.

Der Patient sitzt auf einem regulierbaren Stuhle, sein Kopf ruht auf der Kinnstütze *b*, und zwar mit der Frontalebene parallel zu der durch das Mittelteil verlaufenden Vertikalebene des Apparates (Fig. 230). Die am Ende der Seitenteile befindlichen Orbitalhaken *aa* werden sanft dem äußeren Orbitalrande angedrückt. Das Fernrohr wird mit Hilfe des Fadens genau auf den Hornhautscheitel des geradeaus blickenden Auges eingestellt, und man liest auf der Skala, deren Nullpunkt den Stand des äußeren Orbital-

randes bezeichnet, den sagittalen Abstand zwischen letzterem und dem Hornhautscheitel ab.

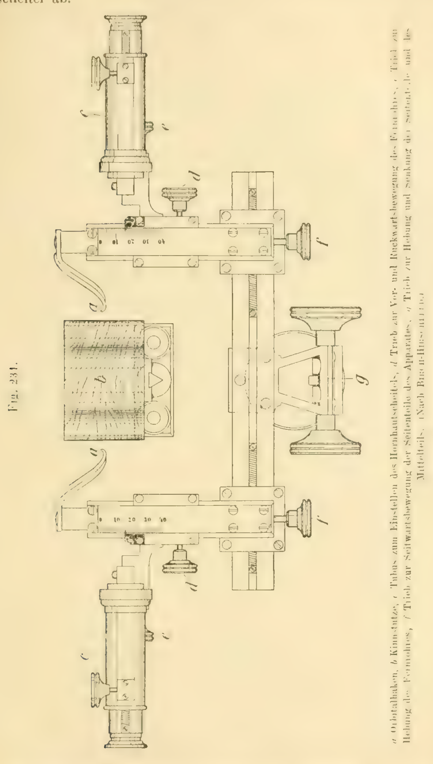


Fig. 231.

a Orbitalhaken, *b* Kinnstütze, *c* Tubus zum Einstellen des Hornhautscheitels, *d* Trieb zur Vor- und Rückwärtsbewegung des Fernrohres, *e* Trieb zur Hebung des Fernrohres, *f* Trieb zur Seitwärtsbewegung der Seitenteile des Apparates, *g* Trieb zur Hebung und Senkung der Seitenteile und des Mittelteils. (Nach [illegible])

Um möglichst zuverlässige Resultate zu bekommen, ist es ratsam, mehrere Ablesungen vorzunehmen, während eine zweite Person, die sich

vor dem Patienten befindet, das genaue Innehalten der eingenommenen Stellung kontrolliert.

Der Apparat ist von dem Mechaniker Rothe vom physiologischen Institut zu Leipzig hergestellt und zeichnet sich durch besonders präcise Arbeit aus.

Zur Untersuchung der relativen Protrusion, d. h. der Protrusion eines Auges vor dem anderen, hat Coccius (15) vorgeschlagen, je einen Maßstab senkrecht zur Frontalebene so auf die geschlossenen Lider zu setzen, dass er sich annähernd über dem Hornhautscheitel befindet. Mit Hilfe eines zur Frontalebene parallel verlaufenden Querstabes liest man auf den Maßstäben ab, um wieviele Millimeter das eine Auge das andere überragt.

Das Weiss'sche (32) binokulare Exophthalmometer dient ebenfalls zur direkten Messung der relativen Protrusion. Es besteht im wesentlichen aus zwei kleinen Elfenbeinknöpfchen, die man an die Mitte der vorher kokainisierten Hornhaut anlegt. Sie lassen sich in drei aufeinander senkrechten Richtungen verschieben und stehen mit Maßstäben in Verbindung, die ein um den Kopf gelegter Reif trägt.

Ein Urteil über die relative Protrusion kann man auch dadurch gewinnen, dass man die beiden Cornealscheitel auf die Medianebene projiziert und ihren gegenseitigen Abstand mit Hilfe eines in der Medianebene liegenden Punktes des Nasenrückens bestimmt, der für beide Augen gleichzeitig als Vergleichspunkt dienen kann.

Dieses Verfahren gab Snellen (20, 21) bei der Beschreibung seines »Statometers« an, das sowohl die relative wie die exorbitale Protrusion zu messen gestattet.

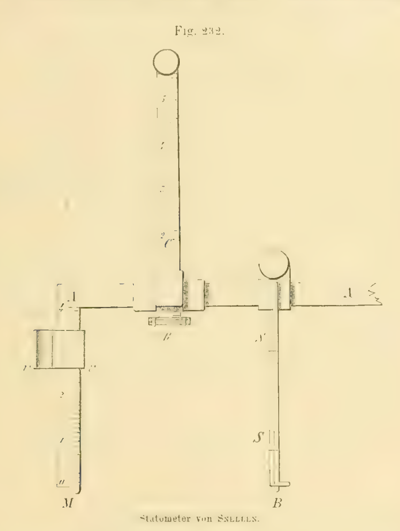
Das Snellen'sche Statometer (Fig. 232) lehnt sich eng an das v. Zehender'sche Exophthalmometer an. Es besteht aus einem Stabe *AA*, auf welchem zwei zu ihm senkrechte, gleich lange Arme *M* und *B* stehen, deren Enden so ausgeschnitten sind, dass sie sich gut dem Orbitalrande anschmiegen. Ihr gegenseitiger Abstand lässt sich durch Verschiebung des Armes *B* beliebig verändern. Längs des eingeteilten Armes *M* gleitet das Visier *vv*, während der Arm *B* den Planspiegel *SS* trägt, der seine reflektierende Fläche dem Visiere zuwendet. Am Ende eines senkrecht zu *AA* verschiebbaren Stabes *C* befindet sich ein zweiter kleiner Spiegel *R*, in dem das zu untersuchende Auge sein Bild fixiert.

Zur Bestimmung der relativen Protrusion entfernt man den inneren Arm *B* und legt den Arm *M* so am äußeren Orbitalrande an, dass *AA* der Frontalebene des Kopfes möglichst parallel steht. Man bestimmt die Differenz der Protrusion beider Augen, indem man mit Hilfe des Visiers die Lage des Cornealscheitels, wie oben erwähnt, mit der eines in der Medianebene liegenden markierten Punktes des Nasenrückens vergleicht.

Genaue Resultate kann diese Methode natürlich schon wegen des beim Halten unvermeidlichen Abweichens des Querstabes aus seiner Lage, parallel zur Frontalebene, nicht liefern.

Seine Hauptverwendung soll das Instrument bei der Untersuchung der exorbitalen Protrusion finden. SNELLEN will aber die exorbitale Protrusion nicht in Bezug auf einen einzelnen Punkt des Orbitalrandes, sondern in Bezug auf die Orbitalbasis bestimmt wissen. Da es nun unmöglich ist,

Fig. 232.



Statometer von SNELLEN.

eine Ebene durch alle Punkte der Orbitalbasis zu legen, zieht SNELLEN zu seinen Messungen zwei Durchmesser derselben heran, den vertikalen zwar und den horizontalen, der bei geradeaus gerichtetem Auge durch die Mitte der Pupille verläuft, und spricht mit Rücksicht darauf von einer vertikalen und horizontalen extraorbitalen Protrusion.

Der Abstand der beiden Arme des Statometers wird dem horizontalen resp. vertikalen Durchmesser adaptiert, ihre Enden werden den entsprechenden Punkten des Orbitalrandes gut angeschmiegt. Während das zu

untersuchende Auge sein Bild in dem Spiegel *R* fixiert und dadurch seine Unbeweglichkeit sichert, wird das Visier wie beim v. ZEHENDER'schen Apparat so eingestellt, dass der Cornealscheitel, sein Bild im Spiegel *SS* und das Visier in eine Gerade fallen. Mit Hilfe der Einteilung, die sich auf dem Arme *M* befindet, bestimmt man die Stellung des Visiers und damit den Abstand des Cornealscheitels von dem horizontalen resp. vertikalen Durchmesser der Orbitalbasis[1]).

In den Fällen negativer Protrusion (Enophthalmus) drückt man den beweglichen Stab *C* nach der oben erwähnten Methode des aufgesetzten Stabes von COCCIUS an das geschlossene Augenlid in der Gegend des Hornhautscheitels an und liest dessen Lage auf der Einteilung des Stabes ab.

Die Abweichung eines Auges in der Frontalebene kann im Sinne der Vertikal- und Transversalachse stattfinden.

Ein Urteil über die Größe dieser Abweichung können wir uns durch subjektive und objektive Messungsmethoden verschaffen, durch subjektive natürlich nur, wenn beide Augen des Patienten ein genügendes Sehvermögen besitzen.

Das alte v. HASNER'sche Verfahren (7) zur Messung des horizontalen Abstandes beider Augen besteht darin, dass man den Patienten einen entfernten Punkt, z. B. eine Turmspitze, fixieren lässt und vor jedes Auge je eine Spitze desselben Zirkels hält. Der Zirkel wird so weit geöffnet, bis der Untersuchte angiebt, dass sich die vorgehaltene Spitze jederseits mit dem zu fixierenden Objekte deckt.

Auf eine andere einfache, ebenfalls von v. HASNER seinerzeit angegebene subjektive Methode kann man sowohl den horizontalen als den vertikalen Abstand beider Augen wenigstens annähernd messen:

Der Patient blickt durch eine senkrecht und parallel zur Frontalebene seines Kopfes aufgestellte Glasplatte nach einem entfernten Gegenstande und markiert auf derselben nacheinander die beiden Punkte der Tafel, in denen

1) SNELLEN glaubt mit dieser linearen Messung der extraorbitalen Protrusion genauere Resultate erreichen zu können, weil sie nicht, wie die von einem Punkte ausgehenden Methoden, eine Bestimmung der Frontalebene des Kopfes verlangt. Uns will es jedoch so scheinen, als ob das exakte Anlegen der beiden Statometerarme in den angegebenen Durchmessern ähnliche Schwierigkeiten bereite, wie die genaue Einstellung der Frontalebene; auch werden wir schon deshalb von dem SNELLEN'schen Statometer absolut zuverlässige Resultate nicht erwarten können, weil dasselbe ebenso wie die meisten oben beschriebenen Instrumente in der Hand gehalten wird und während der Messung leicht Verschiebungen erfahren kann.

Dem stabilen SATTLER-HERING'schen Exophthalmometer werden wir jedenfalls in allen Fällen, wo es uns auf möglichst genaue Werte ankommt, den Vorzug geben, ohne zu leugnen, dass auch bei diesem Instrument, namentlich bei ungenügender Kontrolle der Kopfhaltung, Messungsfehler unterlaufen können.

diese von den beiden Gesichtslinien geschnitten wird. Der Kopf ruht bei diesen Versuchen zwecks ruhiger Haltung auf einer Kinnstütze.

Alfred Smee (1) hat zum Zwecke der Bestimmung des horizontalen Abstandes der Augen, genauer gesagt des Abstandes der Gesichtslinien beider Augen, ein Instrument konstruiert, welches er Vuerometer nannte. Es besteht aus zwei engen horizontalen Cylindern, die längs eines eingeteilten Stabes parallel zu einander verschiebbar sind. Der Kopf des zu Untersuchenden wird so gestellt, dass zunächst ein Auge durch das eine Rohr ein entferntes Objekt sieht; hierauf wird das andere Rohr so weit verschoben, bis dasselbe Objekt auch dem anderen Auge im Centrum der Rohröffnung erscheint. Die Entfernung der Cylinderachsen von einander entspricht dann dem gegenseitigen Abstande der Gesichtslinien, den man für praktische Zwecke mit der Drehpunktsdistanz und dem Pupillarabstand beim Blick in die Ferne identifizieren kann, ohne einen wesentlichen Fehler zu begehen.

In sehr einfacher Weise kann der vertikale und horizontale Abstand sehtüchtiger Augen, bezw. die Abweichung eines Bulbus in der Frontalebene, mit Hilfe eines Planspiegels gemessen werden, wie es bereits von v. Zehender und 1873 von Schroeter (19) angegeben worden ist und in neuerer Zeit wieder von Ostwalt (29) befürwortet wird.

Die »Spiegelmethode« beruht auf folgender Erwägung: Das Auge kann seine Pupille in einem Spiegel nur dann sehen, wenn seine Gesichtslinie senkrecht zur Ebene des Spiegels steht. Befinden sich die beiden Augen einer Person einem feststehenden Planspiegel gegenüber und betrachten sich dieselben nacheinander im Spiegel, so entspricht der vertikale bezw. horizontale Abstand der beiden Punkte des Spiegels, die je eine Pupillenmitte spiegeln, dem vertikalen bezw. horizontalen Abstand der beiden Gesichtslinien.

Ostwalt bedient sich dieser Methode im Interesse exakter Brillenverordnung. Sein Pupillostatometer besteht aus einem Planspiegel, der von einer stabilen und einer horizontal verschiebbaren Platte bedeckt ist. Dieselben haben je eine Durchbohrung, in deren Lumen der Spiegel sichtbar ist. Man lässt erst das linke Auge in dem unbeweglichen Spiegelchen, dann das rechte Auge in dem Spiegelchen der verschiebbaren Platte das Bild seiner Pupille suchen, und misst den Abstand mit Hilfe einer Skala.

Apparat und Kopf des Patienten müssen natürlich ihre Stellung während der Messung unverändert beibehalten.

Will man stärker myopische Augen untersuchen, so hat man nur die Spiegel dem Patienten entsprechend zu nähern.

Auch die Pupillardistanz schielender Augen ist mit diesem Apparat messbar, vorausgesetzt, dass die nötige Sehschärfe vorhanden ist, und dass es

sich nicht um eine Augenmuskellähmung oder Kontraktion handelt, die ein Auge verhindert, seine Gesichtslinie senkrecht zum Spiegel zu stellen[1]).

Ein sehr handlicher »Spiegelapparat«, auf den ich in der Berliner Universitäts-Augenklinik des Herrn Geheimrat Prof v. Michel aufmerksam wurde, ist der »Augenabstandsmesser« von Carl Zeiss (38) in Jena.

Das Instrument hat den Vorzug, dass der Arzt und nicht der Patient die Einstellung und Ablesung vornimmt.

Der Augenabstandsmesser besteht aus einem rechteckigen Rahmen (Fig. 234), dessen eine Breitseite mit Hilfe eines Sattels auf die Nasenwurzel des Patienten gelegt wird, während die andere Breitseite auf der Nasenwurzel des Untersuchers ruht.

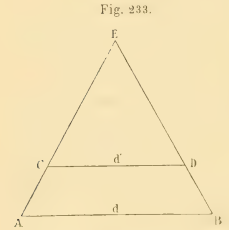
Den Augen des Patienten gegenüber, auf dem mittleren verschiebbaren Querstück, befindet sich ein schmaler Planspiegel (»Hauptspiegel«), der je

1) Die annähernde Größe d' der Pupillardistanz beim Blick in die Nähe kann man nach Ostwalt in folgender einfacher Weise ableiten (Fig. 233):

$AB = d =$ Basallinie (A und B Drehpunkte),
C und D Orte der Brillengläser,
$E =$ Fixationspunkt in der Nähe.

$$CD : AB = EC : EA$$
$$d' = \frac{d \cdot EC}{EA}.$$

Fig. 233.



Da das Rotationscentrum ca. 13 mm hinter dem Hornhautscheitel liegt und die Brillengläser gewöhnlich 12 mm vor demselben, so ist:

$$AC = BD = 13 + 12 = 25$$
$$EC = EA - 25$$
$$d' = d \cdot \frac{EA - 25}{EA}$$
$$= d\left(1 - \frac{25}{EA}\right)$$
$$= d - \frac{25}{EA} d.$$

Gesetzt der Fixationspunkt ist 300 mm von den Gläsern entfernt, dann ist

$$EA = 325$$
$$d' = d - \frac{25}{325} d$$
$$= d - \frac{1}{13} d.$$

Wenn nun der Pupillarabstand beim Blick in die Ferne 65 mm beträgt, dann ist

$$d' = 65 - \frac{65}{13} \text{ mm}$$
$$= 60 \text{ mm}.$$

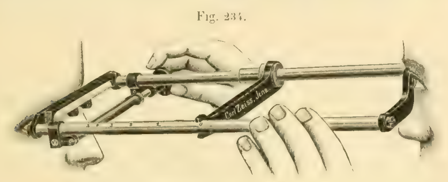
nach der Refraktion des zu untersuchenden Auges demselben genähert oder von ihm entfernt werden kann.

Über den Augen des Patienten verläuft ein geneigter Planspiegel (»Hilfsspiegel«), welcher das Spiegelbild einer Millimeterskala in der Pupillarebene des Untersuchten entwirft[1].

Die Skala, deren Ziffern in Spiegelschrift ausgeführt sind, ist im entsprechenden Abstand von dem Hilfsspiegel auf einer zu diesem parallelen Achse drehbar und längs verschieblich montiert.

Man dreht zunächst, während der Patient in den Hauptspiegel blickt, die Millimeterskala mittelst eines Rädchens (Fig. 234), bis ihre Teilstriche

Fig. 234.



Augenabstandsmesser von Zeiss.

in die Pupillarebene zu fallen scheinen. Darauf fordert man den Patienten auf, das Bild seiner rechten Pupille in dem Hauptspiegel zu fixieren, verschiebt den Maßstab in seiner Längsrichtung, bis der Nullstrich über dem rechten Pupillarcentrum steht, lässt dann das Bild der linken Pupille fixieren und liest an dem Spiegelbild der Skala den Teilstrich ab, der durch die linke Pupillarmitte verläuft.

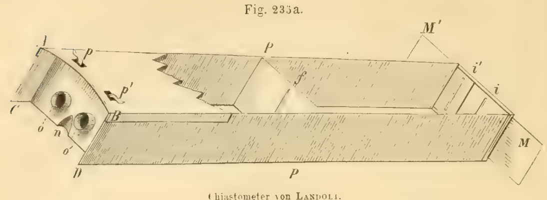
Die abgelesene Zahl entspricht dem Pupillarabstand beim Blick in die Ferne. Die entsprechende Pupillardistanz für die Nähe (30 cm) kann man aus einer beigefügten Tabelle entnehmen.

Das Chiastometer von Landolt (18) (Fig. 235 a) gestattet, auch bei Konvergenz die Distanz der beiden Augen zu bestimmen. Es besteht aus einem länglich viereckigen, inwendig mit schwarzem, nicht reflektierendem Stoffe ausgekleideten und durch einen (in der Figur abgebrochenen) Deckel verschließbaren Kasten. An dem einen Ende desselben befinden sich zur Aufnahme der Augen zwei kurze Röhren oo', deren Ränder sich an die Innenseite der Orbita anlegen. Ein Einschnitt n entspricht der Nase, während der überstehende Rand AB des Kastens die Stirne stützt. Auf

1) Das Entwerfen des Spiegelbildes eines Maßstabes in der Pupillarebene wurde bereits 1893 auf der 23. Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg von C. Hess (30) behufs Messens des Pupillarabstandes vorgeschlagen.

der Innenseite lässt sich jedes der beiden Löcher durch eine federnde Klappe, deren Drücker p und p' über den Deckel des Instrumentes hinaus-

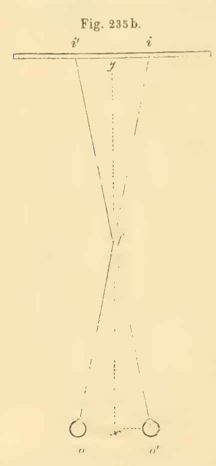
Fig. 235a.



Chiastometer von Landolt.

ragen, schnell schließen und öffnen. Das andere Ende des Kastens ist durch zwei übereinander verschiebbare Metallplatten M' und M verschlossen, deren jede eine etwa $^1/_4$ mm breite vertikale Spalte, i und i', mit rein geschnittenen Rändern enthält. In der Mitte des Kastens, d. h. in der Mitte zwischen den Schiebern MM' und den Rändern AC und BD, befindet sich eine Metallscheidewand PP mit einer ähnlichen senkrechten Spalte f. Die Ansätze o und o' stehen so weit (ca. 14 mm) hinter der Ebene $ABCD$, dass, wenn sich die Augen mit ihren Bedeckungen an ihre Ränder anlegen, ihre Drehpunkte gerade in die Ebene $ABCD$ zu liegen kommen.

Fig. 235b.



Sind die Augen auf solche Weise festgestellt, der Kasten geschlossen, sein Ende MM' einem hellen Fenster zugekehrt, so öffnet man die Klappe p des linken Auges und schiebt die Platte M so lange hin und her, bis das Auge die Spalte f erleuchtet sieht. Dann dringt das durch i einfallende Licht durch f ins Auge, resp. es geht die Gesichtslinie des linken Auges von o durch f nach i (Fig. 235b). Nun lässt man den Schieber M in dieser Stellung, schließt die Klappe p und öffnet p' für das rechte Auge, welches man, durch Verschiebung der Platte M', gerade so nach i' richtet, wie das linke nach i. Zur Kontrolle kann man rasch hintereinander die

eine, dann die andere Klappe öffnen, um zu sehen, ob die Einstellung richtig bleibt, der Kopf also zwischen der einen und der anderen keine Bewegung gemacht hat.

Da die Entfernung der Drehpunkte der Augen von der Scheidewand PP gleich ist der Entfernung von PP nach MM' ($xf = fy$) (Fig. 235 b), so ist auch die Entfernung oo' der beiden Drehpunkte voneinander gleich dem Abstande ii' der beiden Spalten voneinander. Diesen Abstand kann man an einer auf der Platte M angebrachten Einteilung ablesen, welche von der Spalte i als Nullpunkt ausgeht, und auf welcher ein mit M' verbundener Nonius läuft. So bestimmt man also den Ort der beiden Augen successive und ihre gegenseitige Entfernung, ohne dass ihre Gesichtslinien parallel gestellt zu werden brauchen.

Was die Dimensionen des Apparates anbelangt, so ist es klar, dass die Genauigkeit der Messung um so größer wird, je länger der Kasten ist, weil dann Ungenauigkeiten in der Einstellung der Drehpunkte, sowie der kleine Fehler, der daraus hervorgehen könnte, dass die Gesichtslinie nicht in allen Stellungen durch den Drehpunkt geht, weniger Einfluss haben. Von großer Bedeutung ist die Feinheit, die Reinheit und die genau vertikale Stellung der Spalten, weil diese sonst nicht exakt zusammenfallen.

Es ließen sich anstatt der Spalten und des Kastens in i, i' und f einfach feine Nadeln anbringen, welche man in ähnlicher Weise zur Deckung bringen würde. Das Angeben von Hell und Dunkel ist aber für die Untersuchten im allgemeinen leichter, als das genaue Visieren der Nadeln. Das Prinzip der Messung bleibt in beiden Fällen dasselbe: die Kreuzung der Sehlinien; daher der Name Chiastometer.

In allen Fällen, wo es sich darum handelt, die relative Lage zweier Punkte zu bestimmen, wo aber keine genügende Sehschärfe für die Selbstwahrnehmung besteht, oder wo den Angaben des Untersuchten nicht völlig zu trauen ist, verdienen die Methoden, welche auf objektiver Messung beruhen, den Vorzug.

Letztere bestehen der Hauptsache nach immer darin, dass man längs zweier paralleler Visiere nach den zwei Punkten sieht und den Abstand dieser Visiere bestimmt (Panum 22, de Wecker et Masselon 28). Von allen objektiven Methoden ist die mit dem Ophthalmometer die genaueste, weil dieses ermöglicht, mit einem Auge gleichzeitig die beiden Punkte zu visieren.

Allein die Anwendung des Ophthalmometers von Helmholtz zur Ortsbestimmung der Augen wird durch die geringe Dicke der Glasplatten beschränkt, welche nur Messungen von wenigen Millimetern gestattet.

Für größere Dimensionen leistet das nach einem ähnlichen Prinzipe konstruierte Skopometer von Snellen (21) (Fig. 236) denselben Dienst.

Dieses Instrument besteht nach SNELLEN's Beschreibung aus einem Fernrohre, vor dessen Objektiv zwei vertikal übereinander stehende Spiegel $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ so gestellt sind, dass jede der Spiegelflächen in entgegengesetzter Richtung einen Winkel von 45° mit der Achse des Fernrohres bildet. In einem zum Fernrohre senkrechten Gehäuse befinden sich zwei andere Spiegel *aa*, *bb*, deren reflektierende Flächen nach vorn gekehrt und den zwei mittleren parallel gerichtet sind.

Fig. 236.

Die seitlichen Spiegel *aa*, *bb*, sind verschiebbar, so dass sie mit Hilfe einer Schraube einander genähert oder voneinander entfernt werden können. Ist das Instrument richtig eingestellt, so dass die zwei Punkte sich genau decken, dann entspricht der Abstand der äußeren Spiegel voneinander dem zu messenden Abstande der beiden Objekte.

Vor jedem der äußeren Spiegel kann man außerdem ein dioptrisches System anbringen, um auch dann, wenn die beiden Punkte in verschiedenen Entfernungen von dem durchsehenden Auge liegen, das Instrument auf beide Objekte gleichzeitig scharf einstellen zu können.

Litteratur zu Abschnitt XII.

1854. 1. Smee, Alfred, The eye in health and disease. London.
1860. 2. Ritter v. Hasner, Josef, Fehlerhafte Lage der Augen. Klin. Vortr. über Augenheilk. S. 9.
1865. 3. Cohn, Hermann, 43. Jahresbericht d. schles. Ges. f. vaterl. Kultur. S. 156.
1867. 4. Cohn, Hermann, Messungen der Prominenz der Augen mittelst eines neuen Instrumentes, des Exophthalmometers. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. V. S. 339.

1868. 5. Cohn, Hermann. Présentation d'un instrument destiné à determiner avec précision le dégré de saillie du globe oculaire dans l'exophthalmus Compte rendu du Congr. d'Opht. S. 21.

6. de Wecker, L., Maladies de l'orbite. Traité des maladies des yeux. 2. Edition. S. 752.

1869. 7. Ritter v. Hasner, Josef, Die Statopathien des Auges. Prag.

8. Volkmann, A. W., Von der Lage der Koordinatenachsen x, y, z in der Augenhöhle. Bericht über die Verh. d. königl. sächs. Ges. d. Wissensch. zu Leipzig. I. S. 36.

1870. 9. Emmert, Emil, Beschreibung eines neuen Exophthalmometers. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VIII. S. 33.

10. Keyser, P., Über das Messen der Prominenz des Auges. Arch. f. Augen- und Ohrenheilk. I, 2. S. 183—186.

11. v. Zehender, W., Noch ein Exophthalmometer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VIII. S. 42.

12. Keyser, P., On the measurement of the prominence of the eye. Arch. of Ophth. and Otol. I. S. 431.

1871. 14. Emmert, Emile, Deux cas de sarcôme de l'orbite et description d'un nouvel instrument pour mesurer la prominence des yeux. Diss. inaug.

1872. 15. Coccius, Ernst Adolph, Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge. Leipzig.

16. Krukhoff, A., Appareil pour définir la distance entre les centres des pupilles. Compte rendu de la soc. des méd. russes à Moscou. No. 17.

1873. 17. Gayat, J., Essais de mensuration de l'orbite. Ann. d'Ocul. LXX. S. 5.

18. Landolt, Edm., Le chiastomètre. Ann. d'Ocul. Janv.-Févr. 1874. S. 3. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 450.

19. Schroeter, Paul, Basalmesser zur Messung der gegenseitigen Abstände der Drehpunkte beider Augen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 36.

1874. 20. Snellen, Statomètre. Ann. d'Ocul. LXXI. S. 270 u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 424.

21. Snellen-Landolt, Die Funktionsprüfungen des Auges. Ophthalmostatometrie. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. II. S. 194 bis 204.

1875. 22. Panum, P. L., Bestemmelsen af Afstanden im bägge Öjnes Omdrejningspunkter. Nordiskt Medicink. Arkiv. VII. No. 9. Ref. in Nagel's Jahresbericht.

1877. 23. Landolt, Edm., Leçons sur le diagnostic des maladies des yeux. Paris.

1878. 24. Pflüger, Phakometer und Chiastometer. Sitzungsbericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 46.

1880. 25. Emmert, E., Auge und Schädel. Ophthalm. Untersuchungen. Berlin. A. Hirschwald.

1881. 26. Cohn, Exophthalmometrie. Eulenburg's Realencykl. V. S. 153 ff. Ref. in Nagel's Jahresbericht.

1883. 27. Stölting, v. Zehender's Exophthalmometer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XII. S. 314.

1890. 28. de Wecker et Masselon, Ophtalmostatomètre. Ann. d'Ocul. CIV. S. 147.

1892. 29. Ostwalt, Pupillostatomètre. Rev. gén. d'Opht. XI. S. 289.

1893. 30. Hess, C., Demonstration eines Instrumentes zur Messung von Pupillendurchmesser und Pupillendistanz. Bericht über die 23. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg.

1894. 31. Antonelli, L'ophtalmomètre Javal employé pour l'exophtalmométrie et l'ophtalmostatométrie. Arch. d'Opht. XI. S. 529.

1895. 32. Weiss, Demonstration eines binokularen Exophthalmometers. Bericht über die 24. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 269.

1897. 33. Fuchs, E., Lehrbuch der Augenheilkunde. Leipzig u. Wien. 6. Aufl. S. 675 ff.
1898. 34. Maklakoff, A., Ein Fall von Enophthalmus traumaticus und Demonstration eines neuen Statometers nach Golovin. Sitzungsbericht d. Moskauer ophth. Vereins. Westnik Ophth. XV, 4, 5. S. 413. Ref. in Nagel's Jahresbericht.
1899. 35. Schreiber, Exophthalmometer. Med. Gesellsch. zu Magdeburg. Sitzung vom 2. März.) Münchener med. Wochenschr. S. 498.
36. Praun, Die Verletzungen des Auges. Wiesbaden, J. F. Bergmann. S. 436 ff.
1900. 37. Birch-Hirschfeld, Ein neues Exophthalmometer (Sattler-Hering. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXXVIII. S. 1 ff.
1901. 38. Dönitz, E., Augenabstandsmesser. Mitteilung aus der opt. Werkstätte von Carl Zeiss in Jena. Zeitschr. f. Instrumentenk. Heft 9. S. 260 ff.

XIII. Untersuchung der Augenbewegungen.

Von

Dr. E. Landolt.

Mit Fig. 237—270.

§ 223. Da die Bewegungen der Augen Drehungen sind, so ist die erste Frage, welche bei deren Erforschung in Betracht kommt, die nach dem Punkte, um welche diese Drehungen stattfinden. Die Bestimmung des Drehpunktes des Auges liegt aber nicht im Gebiete der Klinik. Sie ist mit nicht unbeträchtlichen Schwierigkeiten verbunden und gehört der Physiologie an.

Aus verschiedenen, in dieser Richtung angestellten Untersuchungen (Helmholtz, Donders, J. J. Müller, Berlin u. a.) geht hervor, dass die Augenbewegungen im Normalzustande um einen ziemlich konstanten Punkt erfolgen, und dass dieser Drehpunkt auf der Augenachse liegt, etwa 14 mm hinter der Hornhautoberfläche, also, im normalen Auge, dem hinteren Pole näher als dem vorderen. Allerdings tritt, nach J. J. Müller und Berlin, der Drehpunkt bei stärkster Kontraktion des Hebers des oberen Lides, sowie beim Blick nach unten, vor, bei Schließen der Lider und Blick nach oben, zurück. Diese Ortsveränderung kann im ganzen bis 1,5 mm betragen [1]).

[1] Die von den Gelehrten nachgewiesene Konstanz des Drehpunktes ist offenbar von vielen Augenärzten falsch aufgefasst worden. — Die Lage des Drehpunktes resultiert aus der Thätigkeit der Augenmuskeln. Wirken dieselben normal zusammen, so erfolgt die Drehung des Auges um einen nahezu konstanten Punkt. Ist aber ein Augenmuskel gelähmt, durchschnitten, oder sonstwie in seiner Funktion beeinträchtigt, so ist auch die Lage des Drehpunktes verändert; das Auge dreht sich dann wohl überhaupt nicht mehr um einen einzigen Punkt. Dies ist aber erst recht nicht mehr der Fall, wenn nicht nur ein Muskel vom Bulbus getrennt, sondern das Auge sogar, mit einem außer der Augenhöhle befestigten

Bestimmung der Exkursionen der Augen.

Bei der Bestimmung der Exkursionen der Augen geht man aus von der Primärstellung. Dieselbe findet statt bei der Fixation eines unendlich weit entfernten Punktes, dessen Richtungslinie senkrecht steht zur Frontalebene des Kopfes.

Die Primärstellung ist dadurch charakterisiert, dass, aus ihr heraus, die Gesichtslinie, nach jeder Richtung hin, eine ebene Bahn beschreiben, oder der Blick einer geraden Linie entlang laufen kann, ohne dass das Auge dabei irgend welche Rollung um die Gesichtslinie erfährt, also eine Stellung, aus welcher das Auge nach allen Richtungen hin um eine feste, zur Gesichtslinie senkrechte Achse gedreht werden kann (HERING 42).

Zur Ermittlung der Primärstellung giebt v. HELMHOLTZ (37) folgende Anleitung: Man stellt sich einer vertikalen, von horizontalen und vertikalen Linien durchkreuzten Wand gegenüber, und fixiert ein darauf in der Höhe der Augen angebrachtes rotes Kreuz so lange, bis man davon ein Nachbild erhält. Hebt und senkt man dann den Blick, wendet man ihn links oder rechts, so bleibt das Nachbild des Kreuzes den Koordinaten der Wand parallel, wenn während dessen Fixation die Augen die Primärstellung inne hatten. Ist dies nicht der Fall, so muss man eben die Kopfstellung ändern, bis bei den Exkursionen, in senkrechter wie in wagrechter Richtung, die Linien des Nachbildes mit denen der Wand zusammenfallen[1].

Im Normalzustande, wo beide Augen gleichzeitig fixieren, sind die Blicklinien derselben in der Primärstellung einander parallel. In pathologischen Fällen, wo nur ein Auge fixiert, weicht das andere von dieser Richtung ab. Es nimmt sie aber meist seinerseits ein, wenn das gewöhnlich zum Sehen verwendete Auge verdeckt wird.

Die genaue Bestimmung der Augenbewegungen ist mit manchen Schwierigkeiten verbunden. Zu diesen gehören, in erster Linie, die Bewegungen des Kopfes, die im gewöhnlichen Leben sehr enge mit denen

Faden, aus seiner Lage gezerrt wird. Unter solchen Umständen erfährt es nicht nur eine Drehung, sondern dazu noch eine Lageveränderung. Zu glauben, dass auch unter solchen Umständen das Auge sich um einen konstanten Drehpunkt bewegen müsse, wäre gerade so ungereimt wie nach Linsenverlust, oder bei Vorsetzen verschiedener Gläser, konstante Knotenpunkte anzunehmen. Wie das optische Centrum aus dem Zusammenwirken des gesamten Brechungssystems, so resultiert das Bewegungscentrum aus dem Zusammenwirken aller den motorischen Apparat des Auges bildenden Kräfte. Knotenpunkt wie Drehpunkt haben nichts Absolutes an sich, sondern ändern sich mit jeder Änderung des Systems, von dem sie abhängen.

[1] Wer sich mit der Physiologie der Augenbewegungen und deren rein wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden vertraut machen will, den verweisen wir auf HELMHOLTZ's physiologische Optik (37), auf AUBERT's (82), und namentlich auf E. HERING's (42, 87—92) Arbeiten. Hier dürfen wir überhaupt nur auf das praktisch Verwendbare eingehen.

der Augen verbunden sind. Um dieselben auszuschließen, muss der Kopf befestigt werden. Das sicherste und einfachste Mittel dazu ist das schon von v. Helmholtz verwendete Zahnbrettchen. Ein Brettchen von weichem Holz, zu feineren Versuchen mit Schellack überzogen behufs Einbeißen der Zähne, wird auf einem festen Stative horizontal befestigt. Der zu Untersuchende führt dasselbe tief in seinen Mund und behält es, während der ganzen Untersuchung, fest zwischen seinen Kiefern. So ist der Kopf mit seinem Skelette selbst fixiert. Wie wir gleich sehen werden, genügt für die Praxis ein einfaches Brettchen vollkommen.

Eine weitere Fehlerquelle liegt darin, dass die Augen nur sehr selten bis zur Grenze ihrer Exkursionsfähigkeit bewegt werden. Um diese zu finden, muss deshalb der Untersuchte energisch zur Aufwendung all seiner Kraft angetrieben werden. Da andererseits die Augen leicht ermüden, empfiehlt es sich, um genaue Resultate zu erhalten, die Versuche durch längere Zwischenräume zu unterbrechen und mehrmals zu wiederholen.

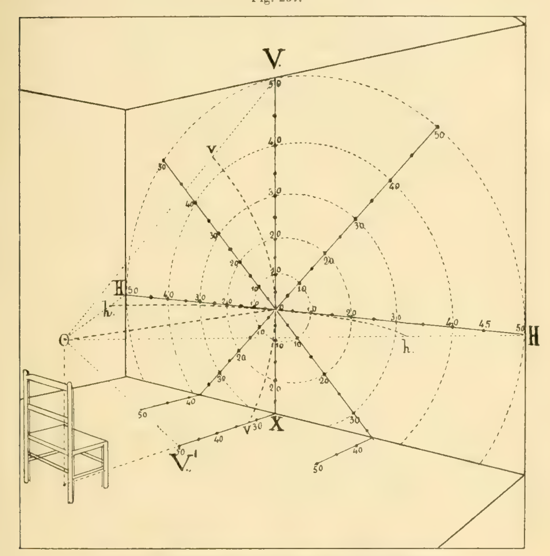
Zur Messung der Exkursionen eines Auges muss man dasselbe in das Centrum einer Kugel bringen und bestimmen, wie weit die Gesichtslinie, von der Primärstellung aus, den verschiedenen Meridianen zu folgen vermag.

Selbstverständlich sollte dabei der Drehpunkt des Auges mit dem Kugelcentrum zusammenfallen. Es lässt sich dieser Anforderung, mittelst einer von Hering (88) angegebenen Einrichtung, auch gerecht werden. Wo es sich aber, wie in der augenärztlichen Praxis, nicht um mathematische Genauigkeit handelt, mag man sich mit ungefährer Einstellung des Auges begnügen. Empfehlenswert ist es schon, der Untersuchungssphäre einen so großen Radius zu geben, dass der aus der mangelhaften Koincidenz des Drehpunktes mit dem Kugelcentrum erfolgende Fehler vernachlässigt werden kann. Da die Herstellung einer großen Halbkugel beträchtliche Schwierigkeiten mit sich bringt, kann man, statt derselben, zu diesen Versuchen die Wand und den Fußboden eines Zimmers verwenden, auf welchen die Meridiane und Tangenten der idealen Kugel abgetragen sind. Ich habe diese Methode vor bald 30 Jahren angegeben (78) und verwende sie seither zur Bestimmung, nicht nur des monokularen und binokularen Blickfeldes, sondern namentlich auch zur Strabometrie.

Fig. 237 stellt das Zustandekommen dieser Tangententeilung dar. 0, wohin die Augen des auf dem Stuhle sitzenden Patienten zu liegen kommen, entspricht dem Centrum, *hoh* dem horizontalen, *vov* dem vertikalen Meridiane der idealen Kugel. — Die vom Scheitelpunkte *o* um 50° entfernten Radien treffen in *H*, *H* und *V* die Wand, in *V'* den Fußboden, und bezeichnen dort die Tangenten des entsprechenden Winkels. In gleicher Weise sind, auf der Wand und dem Fußboden, die Tangenten von 5 zu 5° für den horizontalen, den vertikalen, und zwei, um 45° zu demselben geneigte Meridiane bezeichnet.

Um den Kopf des zu Untersuchenden rasch in die erforderliche Stellung zu bringen, sind auf dem Boden die Punkte für die Füße des Stuhles genau angegeben. Kindern und kleinen Personen giebt man ein Kissen, um die Augen mit dem horizontalen Meridiane der Einteilung auf gleiche Höhe zu bringen. Ob die Entfernung der Augen von der Wand

Fig. 237.



E. Landolt's Tangenteneinteilung zur Untersuchung der Augenbewegungen.

die richtige ist, lässt sich mittelst eines vom Nullpunkte ausgehenden Bandes kontrollieren. Dasselbe muss der Länge des Radius, d. h. der Strecke von 0 bis 45 (Fig. 237) gleich kommen, da die Tangente von 45° dem Radius entspricht. Derselbe soll jedoch so groß gewählt werden, dass Abweichungen von einigen Centimetern für die Praxis nicht in Betracht kommen.

Bei Untersuchungen, die größere Genauigkeit verlangen, stellen wir nicht nur den Kopf mit größerer Sorgfalt ein, sondern fixieren ihn auch mittelst eines Zahnbrettchens, das, an einem gusseisernen Fuße befestigt, dem zu Untersuchenden dargeboten wird.

Unsere Einteilung geht dem horizontalen, dem vertikalen, und wenigstens noch zwei intermediären Meridianen entlang, und zwar bezeichnen Nägel die Tangenten, von 5 zu 5°, d. h. die Stellen, wo die betreffenden Radien Wand und Fußboden schneiden. In der That besteht unsere ganze Einteilung nur in diesen Punkten. Die Linien der Figur dienen nur zur Erklärung des Zustandekommens derselben.

Wir lassen hier die Werte der Einteilung für einen Radius von 3 m, sowie für den genügend großen von 225 cm folgen.

Bei einem Radius von 3 m, sind die Tangenten auf der Wand vom Nullpunkte aus gemessen:

Für 5°	26 cm.
» 10°	53 »
» 15°	80 »
» 20°	109 »
» 25°	140 »
» 30°	173 »
» 35°	210 »
» 40°	251 »
» 45°	300 »
» 50°	358 »
» 55°	428 »

Der Mittelpunkt unserer Einteilung befindet sich 120 cm über dem Fußboden. Wand und Fußboden schneiden sich also 11 cm unter dem mit 20° bezeichneten Punkte, in X (Fig. 237). Von der Wand ab gemessen, wird die Einteilung des vertikalen Meridianes auf dem Boden:

Für 25°	43 cm.
» 30°	92 »
» 35°	129 »
» 40°	157 »
» 45°	180 »
» 50°	200 »
» 55°	216 »

Die zu dem vertikalen um 45° geneigten Meridiane treffen den Boden 120 cm von demselben, zwischen dem 25. und 30. Grade. Von diesem Punkte ab gemessen findet sich

30° . . . . bei 6 cm.
35° . . . . » 57 »
40° . . . . » 97 »
45° . . . . » 130 »
50° . . . . » 157 »

Bei einem Radius von 225 cm, sind die Tangenten auf der Wand, vom Nullpunkte aus gemessen:

Für 5° . . . . . 19,6 cm.
» 10° . . . . . 39,6 »
» 15° . . . . . 60 »
» 20° . . . . . 82 »
» 25° . . . . . 105 »
» 30° . . . . . 130 »
» 35° . . . . . 158 »
40° . . . . . 189 »
» 45° . . . . . 225 »
50° . . . . . 274 »
55° . . . . . 321 »

Wand und Fußboden schneiden sich 15 cm unter dem 25. Grade (Fig. 237). Die Teilung des Bodens wird, von der Wand ab gemessen:

Für 30° . . . . 18 cm.
» 35° . . . . 54 »
» 40° . . . . 82 »
» 45° . . . . 105 »
» 50° . . . . 156 »
» 55° . . . . 141 »

Von den Punkten, wo die beiden schiefen Meridiane den Fußboden treffen, geht die Einteilung auf letzteren, senkrecht zur Wand, in folgender Weise weiter (Fig. 237):

Für 40° . . . . 23 cm.
» 45° . . . . 55 »
» 50° 91

Sollte ein anderer Radius vorgezogen werden, so möge hiernach die Tangente für $r = 1$ m folgen. Da die Tangenten dem Radius proportional sind, so braucht man die Tangenten für $r = 1$ nur mit dem Wert des gewünschten r zu multiplizieren.

tang · 5° = 0,087.
» · 10° = 0,176.
» · 15° = 0,268.
» · 20° = 0,364.
» · 25° = 0,466.
» · 30° = 0,577.
» · 35° = 0,701.
» · 40° = 0,839.
» · 45° = 1,000.
» · 50° = 1,192.
» · 55° = 1,428.
» · 60° = 1,732.

Den Radien der Einteilung entlang, hat nun der Untersuchte seinen Blick zu führen, um zu bestimmen, wie weit er, in jeder Richtung, seine Blicklinie aus der ursprünglichen Lage herauszudrehen vermag. Die so gefundenen Grenzpunkte der Blickrichtung, miteinander verbunden, umschreiben das Blick- oder Fixierfeld.

Die genaueste Methode, diese Grenzpunkte zu bestimmen, besteht darin, dass man im Nullpunkte der Einteilung ein stark leuchtendes Objekt anbringt, z. B. ein kleines Glühlicht, davon in dem zu untersuchenden Auge ein Nachbild erzeugt, und dann die entferntesten Punkte aufsucht, wohin dasselbe projiziert werden kann.

Einfacher und für die Praxis genügend ist es, das Auge den Meridianen entlang zu führen mittelst eines Fixierobjektes, das nur im direkten Sehen genau unterschieden werden kann, wie z. B. eine Gruppe von Punkten. So giebt man sich darüber Rechenschaft, ob das Bild des Fixierobjektes auf die Fovea und nicht auf die excentrische Netzhaut fällt, d. h. ob der gefundene Grenzpunkt der Gesichtslinie, und nicht einer anderen Achse des Auges entspricht.

Hering (90) bedient sich zur Bestimmung des Blickfeldes, oder »Bewegungsraumes« folgender Methode:

Parallel zu den Verbindungslinien der Drehpunkte, wird eine vertikale Glastafel aufgestellt, und auf derselben werden, mit dickflüssiger Tusche oder Ölfarbe, die beiden Punkte markiert, in welchen die in der Primärstellung befindlichen Gesichtslinien die Glastafel schneiden. Hinter der Tafel ist, auf einem farbigen Grunde, eine zum Grunde ungefähr komplementär gefärbte, kleine Scheibe angebracht, für Normalsichtige an einer möglichst weit entfernten Wand, für Kurzsichtige im Fernpunkt ihrer Augen. Diese Scheibe wird so lange fixiert, bis der Untersuchte davon ein dauerhaftes Nachbild bekommt. Dann lässt man den Blick auf der fernen Wand in beliebiger Richtung so weit wandern, bis er nicht mehr weiter kann.

das Nachbild also auf der Wand stehen bleibt. In diesem Momente markiert man wieder auf der Glastafel den Punkt, in welchem dieselbe von der Gesichtslinie durchschnitten wird. Dann kehrt man wieder zur farbigen Scheibe zurück, frischt das Nachbild auf, und lässt die Gesichtslinie in einer anderen Richtung bis an die Grenze ihres Spielraumes wandern u. s. f. Auf diese Weise bekommt man auf der Glastafel eine Reihe von Punkten, welche man zu einer Kurve verbindet, die den vertikalen Durchschnitt der Kegelfläche darstellt, von welcher der Spielraum der Gesichtslinie begrenzt wird. Nachdem man diese Kurve für beide Augen erhalten hat, lässt sich aus ihr, und aus der Entfernung der Glastafel vom Drehpunkte der Augen, der Winkel finden, um welchen die Gesichtslinie in einer beliebigen Richtung aus der Primärstellung abweichen kann.

Zu diesen, wie zu manchen anderen die Augenbewegungen betreffenden Untersuchungen, lässt sich auch das Perimeter verwenden, wenn schon dessen Radius, der selten 30 cm überschreitet, dafür etwas klein ist.

Unser Perimeter besitzt zu diesem Zwecke eine sehr einfache Vorrichtung zum Anschrauben eines Zahnbrettchens. Dasselbe überragt die Kopfstütze des Instrumentes beiderseits um etwa 8 cm. Wir umhüllen es jeweilen mit reinem weißem Papier, und lassen es den zu Untersuchenden so zwischen die Zähne fassen, dass das Centrum des Perimeterbogens in das zu untersuchende Auge fällt. Dann wird, zur Erleichterung des Patienten, die Kinnstütze angelegt und festgeschraubt. Das nicht untersuchte Auge wird verbunden.

Bei der subjektiven Untersuchung dient als Fixierobjekt, wie oben bemerkt, eine etwas zusammengesetzte Figur, die der Untersuchte, auf die Entfernung des Bogens, nur mit der Stelle des scharfen Sehens zu erkennen vermag. Man muss sich also in der Wahl des Fixierobjektes von der Sehschärfe des Untersuchten leiten lassen. Ein Vorzug dieser Methode über die vorigen liegt darin, dass dabei das Auge sich wirklich in einer — durch die Drehung des Perimeterbogens um seinen Scheitel beschriebenen — Halbkugel, also immer in gleicher Entfernung von dem Fixierobjekte, befindet. Letzteres wird in verschiedenen Richtungen dem Bogen entlang geführt, bis es dem ihm folgenden Auge undeutlich erscheint, d. h. sein Bild auf die Grenze der Fovea fällt, die Gesichtslinie ihm nicht mehr zu folgen vermag.

Selbstverständlich darf der Untersuchte dabei kein Wort sprechen, weil er sonst das Zahnbrettchen verlassen würde. Er giebt mit einfachen Zeichen der Hand an, wenn er aufhört, das Fixierobjekt deutlich zu sehen.

Schon eine oberflächliche Beobachtung ergiebt, dass sich die Grenzen des Blickfeldes, im Normalzustande, auf subjektivem Wege, nur in wenigen Richtungen (nach der Schläfe hin) bestimmen lassen. Nach oben, innen, und zum Teil nach unten, trifft die Blicklinie, ehe sie ihre Grenzstellung erreicht hat, auf die das Auge überragenden Teile des Gesichtes.

Um die Exkursionen des Auges in ihrer Gesamtheit zu bestimmen, muss man zu objektiven Methoden seine Zuflucht nehmen.

Donders und Schuurmann (19) haben dazu das Helmholtz'sche Ophthalmometer verwendet. Diese Methode ist jedoch dem Praktiker kaum zugänglich.

Wir begnügen uns zu klinischen Zwecken wiederum des Perimeters: Das zu untersuchende Auge wird so genau wie möglich in dessen Mittelpunkt gebracht, und der Kopf des zu Untersuchenden, mittelst Kinnstütze und Zahnbrettchens, festgestellt. — Wir bringen dann, auf der Innenseite des Bogens, seinem Scheitel- bezw. Nullpunkte entsprechend, eine kleine brennende Kerze an, und lassen den Untersuchten die Flamme fixieren. Zu gleicher Zeit stellen wir das eine unserer Augen so hinter den Perimeterbogen, dass uns der Hornhautreflex der Flamme gerade in der Mitte der Pupille des Untersuchten erscheint. Wir führen dann die Kerze dem Bogen entlang, und lassen das untersuchte Auge ihr folgen. Zu gleicher Zeit folgen wir ihr aber auch mit unserem eigenen Kopfe, so dass unser Auge, die Flamme und ihr genannter Reflex stets in einem Radius des Perimeterbogens liegen. Kann das untersuchte Auge dem Licht nicht mehr folgen, so verändert sich die Lage des Hornhautreflexes, zum Pupillencentrum, und wir notieren den betreffenden Grad der Perimetereinteilung als Grenzpunkt der Exkursion des Auges.

Geht die Gesichtslinie gerade durch die Mitte der Pupille, so wird die Beobachtung sehr einfach. Meistenteils aber geht sie innen, seltener außen daran vorbei. Im ersteren Falle erscheint uns dann also der Hornhautreflex schläfen-, im letzteren nasenwärts vom Fixierobjekte[1]).

Um die Beobachtung genauer zu machen, kann man, zur Messung in der Horizontalebene, an dem Kerzenträger einen horizontalen Arm anbringen, auf dem sich ein vertikaler Zeiger verschieben lässt. Derselbe wird so gestellt, dass er dem Hornhautreflexe über dem Mittelpunkte der Pupille entspricht, wenn das untersuchte Auge die im Nullpunkte befindliche Flamme fixiert. Während das untersuchte Auge der Flamme folgt, folgt das des Beobachters, über den Zeiger visierend, dem Hornhautreflexe. Der Moment, wann das Auge die Grenze seiner Exkursion erreicht hat, lässt sich so genauer feststellen, weil dann der Hornhautreflex den Mittelpunkt der Pupille verlässt, was leichter zu beobachten ist, als wenn er, von vornherein excentrisch gelegen, seine Stellung ändert.

In den Richtungen nun, in welchen das Pupillarcentrum hinter dem das Auge umgebenden Teile des Gesichts verschwindet, wählt man einen anderen Teil des Auges zur Beobachtung. Handelt es sich beispielsweise um die Bestimmung der nasalen Grenze der Exkursion des rechten

---

1) Siehe S. 724: Bestimmung des Winkels Kappa.

Auges, so weisen wir den Untersuchten an, möglichst weit nach links zu stehen, und suchen dann den Punkt des Bogens, wohin wir das Licht bringen müssen, damit dessen Reflex unserem, in radiärer Richtung visierenden Auge, gerade auf dem temporalen Endpunkte des horizontalen Hornhautmeridianes erscheint. Es liege derselbe um drei Grade nach innen, bezw. nasalwärts, vom Nullpunkte des Perimeterbogens. Darauf lassen wir den Untersuchten den Nullpunkt fixieren, und suchen wieder den dem Hornhautrande entsprechenden Grad der Einteilung auf. Es sei derselbe der 45. Dann misst die nasale Exkursion dieses Auges also $45 + 3 = 48^{\circ}$. In der That, da in diesem Auge der von der Blicklinie und dem zum Hornhautrande senkrechten Radius eingeschlossene Winkel 45° ausmacht, so ist die Exkursion des Auges $= 45^{\circ}$, wenn der Hornhautrand dem Nullpunkte der Einteilung gegenüber steht. Da er denselben aber um 3° überschritten hat, so ist die Exkursion der Gesichtslinie eben 48°. — Stände, bei maximaler Drehung des Auges, der Hornhautrand um 3° diesseits des Nullpunktes, so wäre die Exkursion $45 - 3 = 42^{\circ}$.

Vergleicht man die subjektiv und objektiv gefundenen Blickfeldgrenzen desselben Auges miteinander, so zeigen sich die letzteren nicht selten etwas ausgedehnter, als die ersteren. Dies rührt daher, dass, bei den extremen Stellungen des Auges, die Sehschärfe nicht mehr ganz so gut ist, wie beim Blicke in den gewohnten Richtungen, das Sehzeichen also deutlich wahrgenommen zu werden aufhören kann, noch ehe die Gesichtslinie die Grenze des Blickfeldes erreicht hat. Man thut also gut, zu diesen Versuchen nicht allzuschwer zu erkennende Fixierobjekte zu wählen.

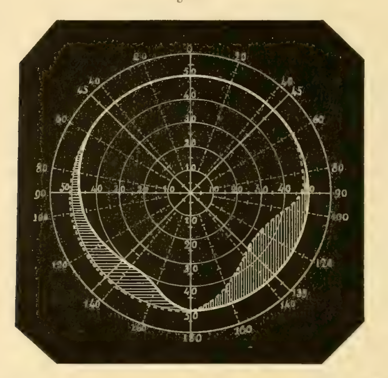
Die Ausdehnung des Blickfeldes ist, auch im Normalzustande, nicht bei allen Beobachtern dieselbe. Eigene Untersuchungen und Erfahrungen (97) haben uns gelehrt, dass wir für die Praxis annehmen dürfen, ein normales Blickfeld müsse sich nach allen Richtungen mindestens bis 47° erstrecken, vielleicht etwas weniger nach oben, eher etwas weiter nach außen und innen, und namentlich nach unten, wo es nicht selten 55° und mehr erreicht (Fig. 238). So erscheint eine Grenze von 45° nach unten, außen und innen schon pathologisch, während sie nach oben noch innerhalb des Normalen liegen kann.

Messung des binokularen Blickfeldes.

§ 224. Das binokulare Blickfeld entspricht dem Raume, den die Gesichtslinien beider Augen gleichzeitig beherrschen. Darüber kann nur das binokulare Sehen Aufschluss geben. Das binokulare Blickfeld lässt sich also nur auf subjektivem Wege bestimmen. Hering hat auch dafür eine sehr sinnreiche, aber in der gewöhnlichen Praxis etwas schwierig zu verwendende Methode angegeben (87 u. 90).

Wir benutzen zur Bestimmung des binokularen Blickfeldes die oben beschriebene Tangententeilung. Die Fixierung des Kopfes durch ein Zahnbrettchen ist dabei unerlässlich. Ein Auge des zu Untersuchenden wird mit einem roten Glase bedeckt. Als Fixierobjekt dient eine kleine Kerzenflamme, die den verschiedenen Meridianen entlang so weit geführt wird, bis sie entweder für das eine Auge verschwindet, oder doppelt gesehen wird. Ersteres findet statt, wenn die das Auge umgebenden Teile der Gesichtslinie eines Auges hindernd in den Weg treten; letzteres, wenn die beiden Gesichtslinien nicht mehr gleichzeitig auf das Objekt gerichtet sind.

Fig. 238.



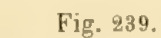
Blickfelder des linken (getüpfelte Kurve) und des rechten Auges (ausgezogene Kurve) derselben Person, mit ihren Mittelpunkten übereinandergelegt.

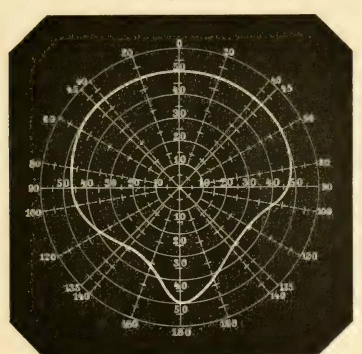
Es genügt bei diesen Versuchen nicht, dem Patienten ein rotes Glas im Brillengestelle vorzusetzen, denn schon bei mäßigen Exkursionen sieht das Auge über dessen Rand hinaus. Auch rote Muschelgläser eignen sich nicht gut zu diesen Versuchen. Da ihr Krümmungscentrum nicht mit dem Bewegungscentrum des Auges zusammenfällt, lenken sie die schief durchtretenden Lichtstrahlen in störender Weise ab. Am besten ist es, dem Untersuchten ein auf die jeweilige Richtung des Lichtes senkrechtes Planglas vorzuhalten.

Man dürfte erwarten, dass das binokulare Blickfeld den den beiden monokularen Blickfeldern gemeinsamen Teilen entspräche, so dass man

dieselben einfach, in ihren Mittelpunkten vereint, aufeinander zu legen brauchte, um das binokulare Feld zu erhalten. Mit anderen Worten, die jedem einzelnen Auge zugänglichen Punkte sollten auch von beiden Augen gleichzeitig fixiert werden können.

Dies ist, im Normalzustande, beim Blick in die Ferne auch nahezu der Fall. So stellt in Fig. 238 die getüpfelte Kurve das Blickfeld meines linken, die ausgezogene die meines rechten Auges dar. (Ihre oberen Grenzen fallen, wie man sieht, zusammen.) Sie sind mit ihren Centren übereinander gelegt. Der nur dem linken Auge zugängliche Teil ist horizontal, der nur dem rechten zugängliche vertikal gestrichelt.


Fig. 239.



Binokulares Blickfeld derselben Person wie Fig. 238.

Fig. 239 giebt mein direkt gemessenes binokulares Blickfeld wieder (97).
Aus der Vergleichung der beiden Figuren geht hervor, dass bei mir das binokulare Blickfeld sich nur sehr wenig von dem den beiden monokularen Feldern gemeinsamen Teile unterscheidet.

Gewisse Abweichungen von diesem Zustande kommen zwar auch im Normalzustande vor, wo sich, an den äußersten Grenzen des binokularen Blickfeldes, Doppelbilder geltend machen, die auf ein unharmonisches Zusammenwirken der motorischen Apparate beider Augen in diesen ungewöhnlichen Richtungen hindeuten. Nach Hering ('87) soll namentlich bei stark gesenkter Blickebene, sowie beim Nahesehen, das binokulare Blickfeld

kleiner sein als das Feld, welches den in derselben Entfernung geführten Durchschnitt des Raumes darstellt, der jeder von beiden Gesichtslinien für sich zugänglich ist. Dies ist auch richtig. Wo aber zwischen dem den beiden monokularen Feldern gemeinsamen Teile und dem binokularen Blickfelde ein bedeutender Unterschied besteht, da hat man es, meiner Ansicht nach, mit pathologischen Verhältnissen zu thun.

Höchst interessant und charakteristisch sind in dieser Beziehung die Blickfelder bei Augenmuskellähmungen, wo, wie wir später sehen werden, bei ganz normalem Verhalten des einen, und nur geringer Einschränkung des anderen monokularen Blickfeldes, das binokulare auf wenige Grade beschränkt sein kann.

Die Untersuchung der monokularen wie der gemeinsamen Exkursionen der Augen ist leider noch viel zu wenig in die Praxis eingedrungen, und doch hat sie für dieselbe eine außerordentlich hohe Bedeutung.

Bestimmung der Drehung des Auges um seine sagittale Achse (Rollung, Raddrehung).

§ 225. Die bisher betrachteten Drehungen des Auges, die man kurzweg Exkursionen nennt, geschehen um Achsen, die sämtlich in der Frontalebene liegen. Das Auge kann sich aber auch bis zu einem gewissen Grade um seine anteroposteriore oder sagittale Achse drehen. Man bezeichnet diese Art der Augenbewegung, nach v. Helmholtz, mit dem Namen Raddrehung oder auch Rollung [1]).

Zur Untersuchung der Raddrehung werden beide Augen offen gehalten. Dreht sich eines derselben über einen gewissen Grad um seine sagittale Achse, so erscheinen dem Individuum die mit diesem Auge gesehenen Gegenstände in umgekehrter Richtung gedreht. Dreht sich z. B. das linke Auge wie der Zeiger der Uhr, so dass sich das obere Ende seines vertikalen Meridianes nasenwärts neigt, so scheint ihm eine vertikale Linie schläfenwärts geneigt im Vergleiche mit der Richtung, in welcher sie sich dem rechten Auge darstellt. Diese Erscheinung rührt selbstredend daher, dass die Bilder der Linie in beiden Augen nicht mehr auf korrespondierende, d. h. zu binokularer Fusion geeignete Netzhautmeridiane fallen.

Bietet man nun jedem Auge eine vertikale Linie dar, so dass ihre Bilder zu dem Eindrucke einer einzigen Linie verschmelzen, und dreht dann die eine derselben aus dem Parallelismus mit der anderen heraus, so fährt das Individuum so lange fort eine einfache vertikale Linie zu sehen, als das entsprechende Auge die Drehung der Linie mitmacht, d. h. als das Bild derselben auf den unter normalen Verhältnissen vertikalen Meridian

1) Über die Definition der Ausdrücke »Raddrehung« und »Rollung« vgl. Hering, Physiologie der Sinnesorgane, S. 492. 1879.

dieses Auges fällt. Auf dieser Beobachtung beruhen die Methoden zur Bestimmung der Raddrehung des Auges (34, 45, 88, 152c).

Man lässt z. B. den zu Untersuchenden in ein Stereoskop blicken, auf dessen Grund für jedes Auge eine vertikale Linie mit einem in ihrer Mitte befindlichen Fixierpunkte angebracht ist. Die eine derselben wird, in der Ebene des Grundes, um diesen Punkt gedreht, bis die Linien aufhören parallel zu sein, oder aus ihrer Ebene herauszutreten scheinen. Der Grad der Neigung derselben wird an einem eingeteilten Bogen abgelesen. Dabei ist aber wohl zu bemerken, dass zwei Linien stereoskopisch fusioniert, und zu einer einzigen Linie verschmolen werden können, auch wenn ihre Bilder nicht auf sogenannte identische Meridiane der Netzhaut treffen. In diesem Falle tritt dann aber das Gefühl der Tiefendimension ein: Die zweiäugig gesehene Linie scheint die Frontalebene zu verlassen, und sich mit einer Extremität dem Beobachter zu nähern, mit der anderen von ihm zu entfernen. Das Auftreten dieser Erscheinung beweist also, dass das Auge die Drehung der Linie nicht mehr mitmacht.

E. P. Brewer (159) und G. T. Stevens (164) benutzten zur Messung der Raddrehung eine kleine, von E. Maddox angegebene Vorrichtung, der wir später noch begegnen werden. Sie besteht aus einem oder mehreren, hart aneinander gelegten Glasstäbchen von ungefähr 2 mm Durchmesser. Blickt man durch dieselben nach einem leuchtenden Punkte, so erscheint derselbe in einer auf die Achse der Stäbchen senkrechten Linie verzerrt; wirkt doch jedes Stäbchen wie ein sehr starker Cylinder, dessen lineares Zerstreuungsbild sich in das der benachbarten Stäbchen verlängert.

Der Autor bringt nun vor jedes Auge einen Satz solcher Stäbchen. Sie werden erst beide horizontal gestellt, so dass eine entfernte Lichtflamme, binokulär gesehen, als vertikale Linie erscheint. Dann wird der eine Satz langsam in dem runden Gestelle gedreht, bis der Lichtstreif in zwei sich kreuzende Lichtlinien auseinandergeht. Der dazu erforderliche Grad der Drehung lässt sich an der Fassung ablesen.

Um die gegenseitige Richtung der Meridiane der Augen, bei Ausschluss der Fusionsmöglichkeit, festzustellen, wird, bei horizontaler Richtung der Stäbchen, mittelst eines vertikalen Prismas, Höhendifferenz der beiden Netzhautbilder hervorgerufen und, falls die Zerstreuungslinien nicht parallel stehen, der Parallelismus derselben, durch Drehung des einen Stäbchensatzes, wieder hergestellt. Der Sinn der dazu nötigen Drehung ist dann dem Sinne, der Grad derselben dem Grade der gegenseitigen Neigung beider Augen gleich, insofern keine scheinbare Vor- oder Rückneigung der fusionierten Linien eintritt.

Im Normalzustande lassen sich die Augen nur um wenige Grade gegeneinander neigen, resp. um die sagittale Achse drehen. Unter pathologischen

Verhältnissen dagegen, namentlich bei Lähmung gewisser Augenmuskeln, kommen solche Rollungen häufig in beträchtlicher Stärke vor.

§ 226. Nach den parallelen oder associierten Bewegungen der Augen, betrachten wir deren symmetrische Bewegungen, die wir kurz Konvergenz nennen können.

Messung der Konvergenzbreite.

Mit Konvergenz bezeichnen wir das Vermögen, beide Augen gleichzeitig auf einen Punkt zu richten, möge derselbe in unendlicher Entfernung, diesseits oder jenseits des Unendlichen liegen, d. h. möge seine binokulare Fixation Parallelismus der Gesichtslinien, Konvergenz, oder Divergenz derselben erheischen (103, 105).

Am einfachsten wird die Konvergenz gemessen mit Hilfe eines auf der Meridianlinie (MM', Fig. 240) befindlichen Fixierpunktes. In diesem Falle ist der Konvergenzwinkel für jedes Auge immer derselbe. Der Konvergenzwinkel aber giebt das Maß der von jedem Auge ausgeführten Einstellungsdrehung. Der jedem derselben zukommende Innervationsimpuls ist allerdings derselbe, auch wenn das Fixierobjekt nicht auf der Mittellinie liegt (Hering). Er hängt, unter gewöhnlichen Verhältnissen, nur von der Entfernung desselben ab.

Befindet sich der Fixierpunkt in Unendlich, so sind die Gesichtslinien OI und $O'I'$ der beiden Augen (O und O') parallel, und der Konvergenzwinkel ist Null.

Nähert sich der Punkt, so erfordert seine binokulare Fixation positive, d. h. wirkliche Konvergenz. Der Konvergenzwinkel nimmt offenbar zu mit der Annäherung des Objektes. Man kann denselben, in der That, als der Entfernung des Objektes umgekehrt proportional betrachten. Befindet sich das Objekt C in der Entfernung $OC = C$, so ist der Konvergenzwinkel für jedes Auge IOC oder $c = \frac{1}{C}$ [1]).

Nagel (96) hatte den glücklichen Gedanken, diese Entfernung mit dem Meter zu messen. So erhält man, für die, zu binokularer Fixation eines Objektes erforderliche Konvergenz, den gleichen Ausdruck wie für die Refraktion, welche zur optischen Einstellung auf dasselbe nötig ist.

Befindet sich z. B. das Objekt in 1 m von jedem Auge, so erfordert es von jedem derselben, zum deutlichen Sehen, $\frac{1}{1\text{ m}} = 1$ Dioptrie posi-

1) In Wirklichkeit entspricht dieser Ausdruck nicht dem Winkel, sondern seinem Sinus. Wir dürfen die beiden Werte jedoch für unseren Zweck einander gleich setzen, ohne einen wesentlichen Fehler zu begehen.

tiver Refraktion, und zum binokularen Sehen, $\frac{1}{1\text{ m}} = 1$ Konvergenzeinheit.

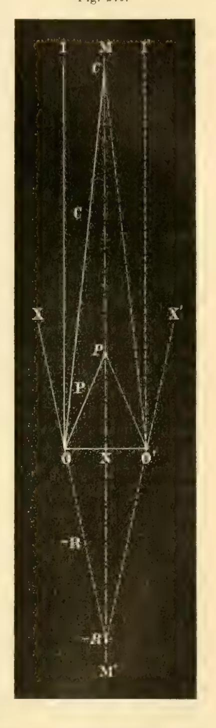
Diese Konvergenzeinheit hat Nagel mit dem Ausdrucke Meterwinkel (Mw.) bezeichnet, wie er zur Bezeichnung der Refraktionseinheit den Namen »Meterlinse« vorgeschlagen hatte.

Befindet sich das Objekt auf der Medianlinie in $\frac{1\text{ m}}{3}$, so erfordert es $\frac{1\text{ m}}{^1/_3} = 3$ Mw. Konvergenz u. s. f.

Die Gesamtheit der Konvergenz, über welche ein Individuum verfügt, die Konvergenzbreite, ist offenbar gleich dem Unterschiede zwischen dem Maximum und dem Minimum seines Konvergenzvermögens.

Das Maximum der Konvergenz ist umgekehrt proportional der Entfernung des nächsten Punktes, der noch binokular fixiert werden kann, des Nahepunktes oder Punktum proximum (*P*) der Konvergenz. Sei P (Fig. 240) diese Entfernung, so ist das Maximum der Konvergenz $= \frac{1}{\text{P}}$. Messen wir P mit dem Meter, so können wir diesen Ausdruck durch p Mw. ersetzen.

Fig. 240.



Das Minimum der Konvergenz ist umgekehrt proportional der Distanz des entferntesten Punktes, der noch binokular fixiert werden kann, des Fernpunktes, des Punktum remotum der Konvergenz. Ist R diese Entfernung, so ist das Minimum der Konvergenz $= \frac{1}{\text{R}}$ oder, wenn R in Metern ausgedrückt wird, r Mw.

Liegt der Fernpunkt der Konvergenz in positiver Entfernung, so ist auch das Minimum der Konvergenz positiv. Dies kommt jedoch nur in krankhaften Fällen vor und stellt einen Strabismus convergens dar. Unter normalen Verhältnissen müssen die Augen, zur Fixation

unendlich entfernter Objekte, wenigstens parallel gerichtet werden können. In diesem Falle ist $R = \infty$, und $r = \frac{1}{\infty} = O$.

Gewöhnlich können normale Augen jedoch mehr oder weniger divergieren. Das Minimum der Konvergenz ist dann negativ. Es ist immer noch umgekehrt proportional der Entfernung des Punktum remotum, nur liegt dieser Punkt nicht mehr vor den Augen, sondern, da dieselben divergieren, hinter denselben ($-R$ Fig. 240) da, wo die rückwärts verlängerten Gesichtslinien OX und $O'X'$ sich kreuzen.

Bezeichnen wir die Konvergenzbreite (Amplitude) mit a, so gilt für dieselbe der gleiche Ausdruck wie für die Akkommodationsbreite [1]):

$$a = p - r.$$

Nach unseren Untersuchungen beträgt das Maximum der Konvergenz $p =$ ungefähr 9 Mw. [2]), das Minimum $r = -1$ Mw., die Konvergenzbreite also:

$$a = 9 - (-1) = 9 + 1 = 10 \text{ Mw.}$$

Bestimmung der positiven Konvergenz.

Seit A. v. Graefe's Zeiten sind mancherlei Mittel und Wege zur Bestimmung des Konvergenzvermögens vorgeschlagen worden. Dasselbe sollte z. B. seinen Ausdruck finden in dem stärksten adduzierenden Prisma, das, bei Fixierung eines entfernten Objektes, noch überwunden werden konnte. Dabei hat man aber außer acht gelassen, dass ein entferntes Objekt Akkommodationsruhe erfordert, und die Akkommodation mit der Konvergenz eng verbunden ist. Wir können also nicht erwarten, dass ein Individuum, bei Akkommodationsruhe, oder doch unveränderter Akkommodation, seine Konvergenz bis zum Maximum anstrengen werde. Dies ist auch wirklich nicht der Fall. In der That wäre, zur Hervorrufung des normalen Konvergenzmaximums, ein Prisma erforderlich, das, vor ein Auge gestellt, das alte No. 70 noch übertroffen hätte. Die nach dieser Methode gefundenen Konvergenzmaxima stehen aber weit hinter einem solchen Werte zurück.

Auf diese Weise findet man in der That höchstens die relative positive Konvergenz, d. h. den Teil der Konvergenz, um welchen sich das Individuum von einem gegebenem Akkommodationsgrade frei machen kann. Ich sage »höchstens«, weil auf die genaue Einstellung der Akkommodation bei den so ausgeführten Untersuchungen keine Rücksicht genommen worden ist.

---

1) Vgl. S. 305.

2) Dies ist ein Minimum, unter welches die positive Konvergenz nicht fallen sollte. Gesunde, namentlich junge Leute, konvergieren oft bis 40 und mehr Mw.

Nach **Mannhardt** (76) bestände die beste Methode, die Konvergenzfähigkeit eines Individuums zu messen, in der Bestimmung seiner Divergenz. D. h. er glaubt, Konvergenz und Divergenz müssen zusammen immer dieselbe Konvergenzbreite ergeben, so dass also Zunahme der Divergenz auf Abnahme der Konvergenz schließen lasse, und umgekehrt. Dies ist aber durchaus nicht der Fall.

Es scheint unbegreiflich, dass man, zur Bestimmung der Konvergenz, jemals einen anderen Weg einschlagen konnte, als den, den nächsten Punkt aufzusuchen, den ein Individuum noch binokular fixieren kann.

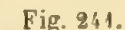
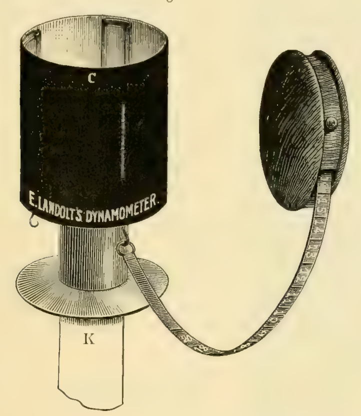


Fig. 241.



Man wird also dem zu Untersuchenden ein Fixierobjekt, auf der Medianlinie, langsam nähern, bis seine Konvergenz zu beidäugiger Fixation desselben nicht mehr ausreicht. Dieser Moment wird sich durch Auftreten gekreuzter Diplopie kundgeben. Um das Doppeltsehen möglichst auffällig zu machen, ist es wünschenswert, zu diesem Versuche nicht einfach eine Marke auf einem Blatt Papier, sondern einen kleinen leuchtenden Punkt zu benutzen.

Wir bedienen uns denn auch, zur Bestimmung der positiven Konvergenz (sowie der Akkommodation), folgender einfacher Vorrichtung, der wir den

Namen Ophthalmodynamometer (99) gegeben haben (Fig. 241). Ein außen schwarzer, innen weißer Blechcylinder *C*, der sich über eine gewöhnliche Kerze *K* stülpen lässt, trägt dreierlei, mit mattem Glase bedeckte Ausschnitte: einmal eine vertikale, einen halben Millimeter breite Spalte, sodann eine punktförmige Öffnung, endlich eine von einer Reihe feiner Öffnungen gebildete vertikale Linie[1]. Ist die Kerze angesteckt, so heben sich diese leuchtenden Prüfungsobjekte sehr scharf von dem schwarzen Grunde ab. Unter jedem derselben befindet sich ein Haken, an welchem das Ende eines mit Federkraft aufrollbaren Messbandes befestigt werden kann.

Das Band ist auf der einen Seite, von seinem freien Ende an, in Centimeter, auf der anderen in die entsprechenden Meterwinkel (resp. Dioptrien geteilt. So geben in der Fig. 241 die Zahlen 16, 15, 14 u. s. w. Centimeter, die Zahlen 18 und 20 Meterwinkel an.

Zur Bestimmung der positiven Konvergenz, benutzt man als Objekt die Spalte oder den Punkt. Man zieht das Messband bis auf ungefähr 70 cm aus und hält dessen Hülse an die eine Schläfe des zu Untersuchenden, seiner Basallinie möglichst entsprechend, während das Fixierobjekt auf seiner Medianlinie liegt. Sieht der Untersuchte dasselbe einfach, so wird es ihm, durch Druck auf den Knopf des Bandmaßes, langsam genähert, doch so, dass es immer auf der Medianlinie bleibt. Sobald der Untersuchte, trotz Aufwand aller Kraft, anfängt, den Lichtpunkt doppelt (gekreuzt) zu sehen, ist der Nahepunkt, das Maximum seiner Konvergenz, erreicht. Die Entfernung des ersteren lässt sich auf der einen, der Wert des letzteren auf der anderen Seite des Messbandes ablesen.

Sollte sich der Untersuchte über den Eintritt des Doppeltsehens nicht Rechenschaft geben, so kann man ihm mit einem, vor das eine Auge gesetzten, farbigen Glase zu Hilfe kommen. Da ein solches aber die Fusion etwas erschwert, so ist es wünschenswert, die Untersuchung nachher noch mit bloßen Augen zu wiederholen.

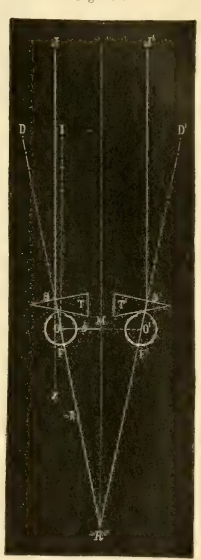
Bestimmung der negativen Konvergenz.

Die Bestimmung der negativen Konvergenz oder Divergenz wird vorgenommen mit Hilfe abducierender (mit der Kante schläfenwärts gerichteter) Prismen, welche zur binokularen Fixation eines unendlich entfernten Gegenstandes Divergenz der Gesichtslinie erfordern. Es seien z. B. in Fig. 242 *O* und *O'* die beiden Augen, und es gehören die parallelen Strahlen *JS* und *J'S'* demselben, von einem unendlich weit

[1] Dies Objekt dient, wie wir S. 309 gesehen haben, gleichzeitig zur Bestimmung des Maximums der Konvergenz, wie zu der des Maximums der Akkommodation. Fängt die Linie an doppelt zu erscheinen, so ist das erstere erreicht, werden die Punkte undeutlich, das letztere. Das Maximum beider Funktionen, der Konvergenz wie der Akkommodation, lässt sich auf dem Messbande direkt ablesen.

entfernten Punkte kommenden Strahlenbündel an. Ohne die Prismen T und T' müssten die Augen, um diesen Punkt zu fixieren, parallel stehen. Die temporalwärts gerichteten Prismen aber lenken die Strahlen gegen R ab, und erfordern also, wenn das Bild des Fixierpunktes in den Netzhautgruben F und F' entstehen soll, eine Divergenz der Augen, wie sie durch die Linien RFD und $RF'D'$ angedeutet wird.

Fig. 242.



Die stärksten Prismen, welche so überwunden werden können, entsprechen offenbar dem Maximum der Divergenz, resp. negativen Konvergenz, und der Punkt $-R$, nach welchem hin sie die Strahlen ablenken, ist der (negative) Fernpunkt der Konvergenz. Das Umgekehrte, d. h. der reciproke Wert seiner mit dem Meter gemessenen Entfernung $RO = \mathrm{R}$ vom Auge, giebt den Wert der negativen Konvergenz in Meterwinkeln: $-r = \frac{1}{-\mathrm{R}}$.

Wie sich der Ablenkungswinkel eines Prismas in Meterwinkel umsetzen lässt, werden wir gleich sehen.

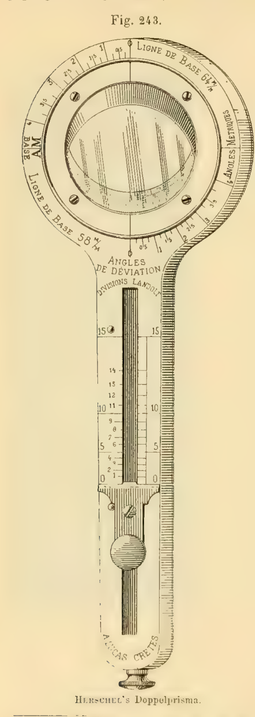
Es wäre nun allerdings nicht sehr einfach, vor die beiden Augen zwei gleiche Prismen zu bringen, bis man diejenigen gefunden hätte, welche der größtmöglichen Divergenz entsprechen. Ein vor ein Auge allein gehaltenes Prisma thut aber gerade denselben Dienst. Seine Divergenz erforderride Wirkung erstreckt sich ja auf beide Augen — kann doch ein Auge allein nicht divergieren —, man braucht nur den Ablenkungswinkel des Prismas zu halbieren, um dessen abducierende Wirkung für jedes einzelne Auge zu erhalten, gerade wie wir die positive Konvergenz durch den jedem einzelnen Auge zukommenden Adduktionswinkel ausdrücken.

Aber auch das Wechseln der Prismen vor einem Auge hat etwas Missliches. Man bedient sich deshalb, zur Bestimmung der negativen Konvergenz oder Divergenz, am besten des nach HERSCHEL's Prinzip konstruierten Doppelprismas von CRÉTES (Fig. 243)[1].

1) Vgl. S. 143 ff.

Dasselbe besteht aus zwei gleichstarken, in umgekehrtem Sinne, mit gleicher Geschwindigkeit drehbaren Prismen[1]). Sind dieselben einander entgegengesetzt gerichtet, so heben sie sich auf, die Wirkung des Doppelprismas ist Null, da dessen Oberflächen einander parallel sind. Dies ist der Fall in nebenstehender Figur, wo der Index des Griffes auf dem Nullpunkte der die Ablenkung angebenden Einteilung steht. — Dreht man aber die Prismen, durch Aufwärtsschieben des Knopfes, so neigen sich deren Außenflächen immer mehr gegeneinander; eine immer stärkere prismatische Wirkung tritt zu Tage, bis dieselbe ihr Maximum erreicht hat, wenn die Kanten beider Prismen gleich gerichtet sind. Man erhält so ein Prisma von veränderlicher Kraft, bei gleichbleibender Ablenkungsrichtung. In dem vorliegenden Instrumente findet die Ablenkung in der auf dessen Längsachse senkrechten Richtung statt, und erstreckt sich von 0 bis 15°. Die von mir eingeführte Einteilung des Griffes giebt den jeder Drehung der Prismen, resp. jedem Stande des Index, entsprechenden Ablenkungswinkel an.

Fig. 243.



Herschel's Doppelprisma.
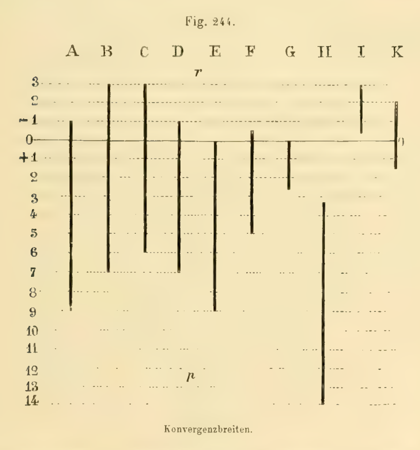
In der runden Fassung der Prismen aber drehen sich mit denselben noch zwei weitere Indices, welche in der Figur beide auch auf 0 stehen. Sie durchlaufen, der obere nach links, der untere nach rechts, eine Einteilung, welche die den Ablenkungswinkeln entsprechenden Meterwinkel angiebt, die obere für eine Basallinie von 64 mm (Erwachsene), die

1) In diesem Instrumente liegen die Prismen mit einer Fläche aufeinander, bilden also in der That immer ein einziges Prisma. Snellen hat sie so fassen lassen, dass jedes sich in seiner Halbierungsfläche dreht; ihre Kanten also voneinander abstehen.

untere für eine solche von 58 mm (Kinder). Und zwar habe ich, bei Herstellung dieser Skalen, gleich der Verwendung des Instrumentes vor einem Auge Rechnung getragen; so kann also das bei der Bestimmung des Divergenzmaximums erhaltene Resultat, ohne Reduktion, als $-r$ in die Formel der Konvergenzbreite eingeführt werden. Es entsprechen z. B., für eine Basallinie von 58 mm, 3 Mw. 5 Graden. Steht der obere Index des Doppelprismas aber auf 3 Mw., so steht der untere auf 10°, eben weil das Instrument nur vor ein Auge gehalten wird, seine Wirkung auf jedes also nur 5° = 3 Mw. ausmacht (170 g).

Wie die obere Einteilung bei der Bestimmung der symmetrischen Bewegungen, so thut uns die untere, bei derjenigen der associierten Bewegungen der Augen, treffliche Dienste.

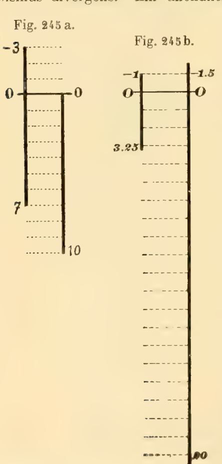
Fig. 244.



Konvergenzbreiten.

Das Resultat der Untersuchung der Konvergenzbreite lässt sich am einfachsten und anschaulichsten in nebenstehender Weise graphisch darstellen. In Fig. 244 bezeichnet die Horizontale 0 0 den Parallelismus der Gesichtslinien, d. h. die Nullpunkte der Konvergenzbreiten, der darunter gelegene den positiven (p), der darüber gelegene den negativen Teil (r) der Konvergenz. Die Abscissen entsprechen den seitlich davon angegebenen Zahlen von Meterwinkeln.

In dies einfache Schema wird die gefundene Konvergenzbreite als Ordinate eingetragen. So entspräche der Strich A dem Normalzustande, wo $p = 9$, $r = -1$; $a = 9 + 1 = 10$ Mw. — In B ist die Konvergenzbreite, d. h. die Länge des Striches, dieselbe: $a = 10$ Mw., die positive Konvergenz aber um 2 Mw. geringer (7), die negative um 2 Mw. größer (— 3), als normal. — Schema D würde eine reine Insufficienz der Konvergenz, E eine solche der Divergenz darstellen. — In F, und namentlich in G, sind Konvergenz wie Divergenz insufficient. — In H sind beide positiv, d. h. das Individuum kann seine Konvergenz bis auf 14 Mw. anspannen, aber nicht einmal bis 3 Mw. entspannen. Sein Konvergenzfernpunkt liegt etwas weniger als $^1/_3$ m, sagen wir 30 cm, vor ihm. Weiter hinaus besteht Strabismus convergens mit homonymer Diplopie. Die Konvergenzbreite ist $a = 14 - 3,25 = 10,75$ Mw. — Das Umgekehrte ist der Fall in I. Da sind Maximum wie Minimum der Konvergenz negativ. Es besteht Strabismus divergens. Ein unendlich entferntes Objekt erscheint in gekreuzter Diplopie. Um dasselbe einfach zu sehen, ist für jedes Auge ein abducierendes Prisma von mindestens einem halben Meterwinkel erforderlich. Das Individuum kann allerdings auch noch bis auf 3 Mw. divergieren. Seine Konvergenzbreite wird dargestellt durch den Ausdruck: $a = -0,5 - (-3) = 0,5 + 0,3 = 2,5$ Mw. Alle die in Fig. 244 angegebenen Fälle habe ich in der Praxis beobachtet.



Sehr demonstrativ ist diese Darstellungsweise namentlich für den Einfluss, den gewisse Operationen auf die Konvergenzbreite ausüben (113b).

So stellt, in Fig. 245a, die links gelegene Linie einen Fall von Insufficienz der Konvergenz dar: statt 9 bis 10 Mw., betrug dieselbe nur 7 Mw. Dafür war die Divergenz bedeutend, d. h. bis 3 Mw. erhöht. Ich glaubte, die letztere im Interesse der ersteren schädigen zu dürfen, und nahm, nach alter Väter Weise, die Tenotomie eines Externus vor. Das Resultat ist durch die rechts gelegene Linie angegeben. Allerdings gewann ich — dank fortgesetzter Übungen — einen Zuschuss von Konvergenz, welcher dieselbe bis auf 10 Mw. brachte. Die Rücklagerung hatte aber die Divergenz vollkommen aufgehoben, und die Patientin war dem Strabismus convergens sehr nahe gekommen. Dennoch ist dies Resultat als ein für eine Tenotomie sehr glückliches zu betrachten. Häufig genug erzeugt die Muskelrücklagerung in solchen Fällen Strabismus convergens

mit äußerst störender Diplopie, ohne im stande zu sein, einen irgendwie bedeutenden Defekt der Konvergenz aufzuheben, d. h. dem Patienten sein Arbeitsvermögen wiederzugeben.

Ich bin denn auch seit über 20 Jahren von der Tenotomie in solchen Fällen abgegangen und empfehle dafür die einfache Vorlagerung eines Internus. Den ausgezeichneten Erfolg dieser Operation erläutert Fig. 245b. Wie der Strich links zeigt, besaß der Patient (ein Junge von 13 Jahren), bei normaler Divergenz, nur 3,25 Mw. Konvergenz. Die Vorlagerung eines Internus erhöhte sein Konvergenzvermögen, wie der Strich rechts zeigt, bis über 20 Mw., d. h. weit über die Norm, ohne die Divergenz irgendwie zu beeinträchtigen. Der Patient, der damals, seiner asthenopischen Beschwerden wegen, während drei Jahren seine Studien hatte aufgeben müssen, konnte dieselben, gleich nach der Heilung des operativen Eingriffes, wieder aufnehmen, hat sie nie mehr unterbrochen und ist ein tüchtiger Jurist geworden. Als ich ihn 15 Jahre nach der Operation zufällig wieder sah, war die Konvergenzbreite noch ganz dieselbe, wie Fig. 245b rechts wiedergiebt.

Bestimmung der Insufficienz des Konvergenzvermögens.

§ 227. Wie wir bei der Akkommodation gesehen haben, so erfordert die fortgesetzte Anstrengung dieser Funktion einen gewissen Reservefond, und zwar entspricht derselbe, nach Monoyer und mir, dem Drittel der gesamten Akkommodationsbreite.

Ähnliche Untersuchungen wie über die Akkommodationsquote, habe ich auch angestellt über die Konvergenzquote, d. h. über den Teil der positiven Konvergenz, welcher zu fortlaufender Arbeit in Reserve behalten werden muss (99, 105). Die Muskeln, welche den Bewegungen der Augen vorstehen, funktionieren nun allerdings bei weitem nicht mit der gleichen Genauigkeit, wie der die optische Einstellung vermittelnde Ciliarmuskel. Ich glaube aber doch, als allgemeine Regel aufstellen zu dürfen, dass von der positiven Konvergenz nicht weniger als $^2/_3$ in Reserve behalten werden müssen, und nur $^1/_3$ zu direkter Verwendung kommen darf, wenn nicht, nach einer gewissen Zeit, asthenopische Beschwerden auftreten sollen. So stellen also die 9 Mw. positiver Konvergenz, die ein normaler Mensch wenigstens besitzen soll, durchaus keinen Überfluss dar. Sie wären zur Arbeit in der gewöhnlichen Entfernung von $\frac{1\text{ m}}{3}$ nur gerade genügend. In der That, wer auf $\frac{1\text{ m}}{3}$ ruhig arbeiten will, braucht direkt 3 Mw. Konvergenz. Diese 3 Mw. dürfen also nur $^1/_3$ seiner positiven Konvergenz ausmachen, von welcher er $^2/_3$ in Reserve behalten muss. Also bedarf er im ganzen $3 \times 3 = 9$ Mw.; 3 zur Arbeit, 6 in Reserve.

Um in $\frac{1\text{ m}}{4}$ zu arbeiten, sind im ganzen $3 \times 4 = 12$ Mw. positiver Konvergenz erforderlich u. s. f.

Handelt es sich nun darum, festzustellen, ob ein vorhandenes Konvergenzvermögen genügend oder ungenügend, **insufficient**, sei, ob eine Asthenopie auf Insufficienz des Konvergenzvermögens zurückzuführen sei oder nicht, so werden wir geradeso vorgehen, wie bei der Prüfung der Akkommodationstüchtigkeit (S. 314). Wir fragen uns erst, wie viele Meterwinkel positiver Konvergenz das Individuum bedarf, d. h. in welcher Entfernung es zu arbeiten wünscht. — Dann sehen wir nach, ob die dazu erforderliche Konvergenz nicht mehr als ein Drittel der vorhandenen positiven Konvergenz (p) ausmacht. Wo nicht, so genügt sie.

Erheischt dagegen die Arbeit sofort mehr als ein Drittel von p, so ist die Konvergenz ungenügend, und wir müssen das Mangelnde zu ersetzen suchen. Dabei kommen, neben manchen anderen Mitteln, **prismatische Gläser** in Betracht. Ehe wir jedoch daran denken können, dieselben rationell zu verwerten, müssen wir uns über das Verhältnis der durch die Prismen hervorgebrachten Ablenkung der Lichtstrahlen zu der Konvergenzeinheit Rechenschaft geben. Wir müssen das Verhältnis zwischen dem Meterwinkel und den gewöhnlichen Winkelgraden kennen lernen.

Der absolute Wert des Meterwinkels.

§ 228. Ist auch der Meterwinkel immer der Winkel, um welchen sich ein Auge nach innen (oder außen) drehen muss, um einen auf der Medianlinie gelegenen Punkt zu fixieren, so ist sein **absoluter** Wert, ausgedrückt in **Graden**, doch nicht für jedermann derselbe.

Sein Wert ändert sich mit der Basallinie, d. h. mit dem Abstande zwischen den Drehpunkten der beiden Augen (OO' Fig. 240 und 242): Je weiter die Augen voneinander abstehen, desto größer wird für denselben Punkt (C oder R) der Adduktions- wie der Abduktionswinkel.

Für eine Basallinie von 64 mm, ist $1 \text{ Mw.} = 1^\circ 50' = 110' = \frac{11^\circ}{6}$.

Also entsprechen $x \text{ Mw.} = \frac{x \cdot 11^\circ}{6}$ für **ein** Auge.

Die gesamte Konvergenz, d. h. der Winkel, um welchen beide Augen zusammen konvergieren, ist das Doppelte, also

$$2 \cdot \frac{x \cdot 11^\circ}{6} = \frac{x \cdot 11^\circ}{3}.$$

So würden z. B. 9 Mw. Konvergenz für jedes Auge, einer Einwärtsdrehung von

$$\frac{9 \cdot 11^\circ}{6} = 16^\circ 5,$$

und für beide Augen zusammen, einer gesamten Konvergenz von $2 \cdot 16^\circ 5 = 33^\circ$ entsprechen.

Dies geht auch aus dem zweiten Ausdrucke hervor:

$$\frac{x \cdot 11^{\circ}}{3} = \frac{9 \cdot 11^{\circ}}{3} = 33^{\circ}.$$

Umgekehrt: Ist ein Winkelgrad, bei 64 mm Basallinie,

$$1^{\circ} = \frac{6}{11} \text{ Mw.},$$

also ein Winkel von

$$x^{\circ} = \frac{6 \cdot x}{11} \text{ Mw.}$$

Stellen die x° die Konvergenz der beiden Augen zusammen dar, so kommt davon auf jedes Auge die Hälfte, also

$$\frac{x^{\circ}}{2} = \frac{3 \cdot x}{11} \text{ Mw.}$$

Ein vor ein Auge gesetztes Prisma habe z. B. eine Divergenz von 4° hervorgerufen. Das macht für jedes Auge $\frac{4^{\circ}}{2} = 2^{\circ}$, also $\frac{3 \cdot 2}{11} = \frac{6}{11}$ $= 0{,}54$ Mw.

Weitere Beispiele:

Ein Mensch braucht, zur Arbeit in $\frac{1}{3}$ m, 9 Mw. positiver Konvergenz. Er besitze deren nur 7. Ihm mangeln also 2 Mw. für jedes Auge. Welches adducierende Prisma müsste er vor jedes Auge setzen, um eine entsprechende Erleichterung der Konvergenz zu gewinnen?

Antwort: Ein solches von $\frac{2 \cdot 11^{\circ}}{6} = \frac{11^{\circ}}{3} = 3^{\circ}7.$

Dies Beispiel genügt, um zu erklären, warum Prismen in der Praxis so wenig Erfolg haben. Insufficienzen von 2 Mw., die zu den geringgradigen gehören, erfordern zur Korrektion schon Prismen von $3^{\circ}7$ Ablenkungswinkel (nach der alten Ausdrucksweise ungefähr No. 7,5). Solche Prismen sind aber viel zu stark, um praktisch verwendet werden zu können. Halb so starke Prismen ($1^{\circ} 40'$), die gerade einen Meterwinkel Insufficienz korrigieren, sind schon die stärksten, die sich zu Brillengläsern eignen. Wo mehr als 1 Mw. zu korrigieren ist, lassen Prismen meist im Stich.

Nehmen wir ein anderes Beispiel:

Jemand überwindet gerade noch ein vor ein Auge gestelltes abducierendes Prisma von 5°. Wie stark ist sein negatives Konvergenzminimum $-r$?

5° entsprechen $\frac{5^{\circ} \cdot 6}{11} = \frac{30}{11} = 2{,}6$ Mw.

Das macht für jedes Auge $\frac{2{,}6}{2}$, also ist $-r = 1{,}3$ Mw.

Für eine Basallinie von 58 mm ist der Meterwinkel

$$1^\circ\,40' = 100' = \frac{10^\circ}{6} = \frac{5^\circ}{3}.$$

Also sind

$$x \text{ Mw.} = \frac{x \cdot 5^\circ}{3}$$

$$2 \text{ Mw.} = \frac{2 \cdot 5}{3} = \frac{10^\circ}{3} = 3^\circ{,}33.$$

Umgekehrt entspricht, bei einer Basallinie von 58 mm,

$$1^\circ = \frac{60}{100} = {}^3/_5 \text{ Mw.},$$

also sind

$$x^\circ = \frac{x \cdot 3}{5} \text{ Mw.}$$

$$\frac{x^\circ}{2} = \frac{x \cdot 3}{10} \text{ Mw.}$$

Beispiel: Es handle sich darum, bei einem so kleinen Augenabstande, ein Defizit von 3 Mw. für jedes Auge durch Prismen auszugleichen. Wir finden, dass

$$3 \text{ Mw.} = \frac{3 \cdot 5}{3} = 5^\circ$$

entsprechen. Also müsste vor jedes Auge ein Prisma von 5° Ablenkungswinkel (also ungefähr alt Nummer 10) gestellt werden.

Weiteres Beispiel: Ein Kind überwindet das vor ein Auge gestellte abducierende Prisma von 8°. Das macht für jedes Auge Prisma 4°, also $\frac{4 \cdot 3}{5} = 2{,}4$ Mw. — Oder wir können auch sagen: $8^\circ = \frac{8^\circ \cdot 3}{5} = 4{,}8$ Mw. Davon kommt auf jedes Auge die Hälfte = 2,4 Mw.

Es dürfte nicht uninteressant sein, zum Schlusse dieses Paragraphen die Ausdehnung der symmetrischen mit den associierten Bewegungen der Augen, die Konvergenzbreite mit dem Blickfelde zu vergleichen.

Bei einem Konvergenzmaximum von 10 Mw., richtet sich jedes Auge um ungefähr 18° nach innen, während es sich, bei der associierten Bewegung, bis 50° nasalwärts drehen kann.

Bei einem Konvergenzminimum von 1 Mw., dreht sich jedes Auge nach außen um 1° 50′, während es, bei associierter Bewegung, temporalwärts ebenfalls 50° zu erreichen im stande ist.

Daraus geht hervor, dass nur ein kleiner Teil der bei den associierten Bewegungen zur Geltung kommenden Exkursionen zu den symmetrischen verwendet werden kann.

In der folgenden Tabelle findet der Leser die gewöhnlichen Grade in Meterwinkel, und die Meterwinkel in Grade umgerechnet für eine Basallinie von 58 mm, und eine solche von 64 mm.

Basallinie 58 mm		Basallinie 64 mm		Basallinie 58 mm		Basallinie 64 mm	
Grade	Mw.	Grade	Mw.	Mw.	Grade	Mw.	Grade
0,5	= 0,3	0,5	= 0,27	0,5	= 0°50	0,5	= 0°55
1	= 0,6	1	= 0,55	1	= 1°40	1	= 1°50
1,50	= 0,9	1,50	= 0,82	2	= 3°20	2	= 3°40
2	= 1,2	2	= 1,09	3	= 5°	3	= 5°30
2,50	= 1,5	2,50	= 1,36	4	= 6°40	4	= 7°20
3	= 1,8	3	= 1,64	5	= 8°20	5	= 9°10
4	= 2,4	4	= 2,18	6	= 10°	6	= 11°
5	= 3	5	= 2,73	7	= 11°40	7	= 12°50
6	= 3,6	6	= 3,27	8	= 13°20	8	= 14°40
7	= 4,2	7	= 3,82	9	= 15°	9	= 16°30
8	= 4,8	8	= 4,36	10	= 16°40	10	= 18°20
9	= 5,4	9	= 4,91	11	= 18°20	11	= 20°10
10	= 6	10	= 5,45	12	= 20°	12	= 22°

Bestimmung der Gleichgewichtslage der Augen.

§ 229. Unter Gleichgewichtslage der Augen versteht man die gegenseitige Richtung, welche dieselben einnehmen bei Ausschluss jeglicher Innervation ihres Bewegungsapparates, bei vollkommener Ruhe.

Da im Normalzustande die gegenseitige Richtung der Augen von dem Triebe zur binokularen Fusion beherrscht wird, so glaubte man, dieselben schon dann dem alleinigen Gleichgewichte ihrer Muskeln zu überliefern, wenn man ihnen die Fusion unmöglich machte.

Dabei hat man aber außer acht gelassen, dass auch die Akkommodation einen ganz bedeutenden Einfluss auf die gegenseitige Richtung der Augen ausübt, ist sie doch innig mit der Konvergenz verbunden. So wird die Betrachtung eines fern gelegenen Objektes stets eine Verminderung der Akkommodation, und damit ein Auseinandergehen der Gesichtslinien begünstigen, während ein nahe gelegenes Fixierobjekt immer gleichzeitig die Akkommodation wie die Konvergenz anregt. Dieser Einfluss der Akkommodation auf die symmetrische Bewegung der Augen ist bis zu einem gewissen Grade unabhängig vom binokularen Sehen. Er macht sich auch geltend, wenn ein Auge ganz vom Sehen ausgeschlossen ist.

Man könnte hoffen, den störenden Einfluss der Kontraktion des Ciliarmuskels durch Lähmung der Akkommodation zu vermeiden. Die Mydriatica verringern denn auch unzweifelhaft den Konvergenztrieb. Jedoch beeinflusst schon die ungefähre Kenntnis der Entfernung des Fixierobjektes die

gegenseitige Richtung der Augen. Die Fixation eines vorgehaltenen Fingers wird, auch bei Ausschluss von Akkommodation und Binokularsehen, eine Konvergenzbewegung begünstigen, die eines Sternes dieselbe erschweren.

So versuchte man, die Gleichgewichtslage in einem absolut dunkeln Raume zu bestimmen, und benutzte, als Sehobjekt, einen elektrischen Funken, von dessen Entfernung sich der zu Untersuchende keinen genauen Aufschluss zu geben vermochte. In der That fehlen ihm im Dunkeln die aus der Entfernung anderer Objekte hervorgehenden Anhaltspunkte zur Schätzung derjenigen des Sehzeichens; andererseits lässt ihm die kurze Dauer der Sichtbarkeit des Objektes zu einer Konvergenzbewegung keine Zeit.

Aber auch diese Versuche sind durchaus nicht fehlerfrei. Außer dem binokularen Sehen, außer der Akkommodation, giebt es noch ein weiteres, wichtiges Moment, das auf die gegenseitige Richtung der Augen bestimmend einwirkt. Das ist die Vorstellung. Je nachdem wir ein Objekt näher oder ferner glauben, konvergieren wir mehr oder weniger.

J. Stilling (108) versuchte deshalb, die Gleichgewichtslage der Augen u. a. im Momente des Erwachens zu bestimmen. Der Untersuchte wurde, beim Öffnen der Lider, auf ein weit entferntes Licht aufmerksam gemacht, und musste sich, mit Hilfe eines farbigen Glases oder successiven Verdeckens der Augen, darüber Rechenschaft geben, ob ihm das Objekt binokular einfach, in gekreuzten, gleichnamigen, übereinander stehenden, oder kombinierten Doppelbildern erschien. Ein Mensch, der solche Fragen zu beantworten im stande ist, schläft nun allerdings nicht mehr, sondern muss schon merklich unter dem Einflusse seines Bewusstseins stehen, namentlich wenn er gar den Winkel bestimmen soll, unter welchem sich seine Gesichtslinien kreuzen.

Die absolute Gleichgewichtslage, der absolute Ruhezustand der Augen, tritt eigentlich erst bei vollkommener Bewusstlosigkeit ein. Die derselben entsprechende gegenseitige Richtung der Gesichtslinien lässt sich also nicht direkt bestimmen, da dieselbe aus der Projektion der Netzhautbilder, d. h. aus einem bewussten Akte hervorgeht. Wollte man über die absolute Gleichgewichtslage der Gesichtslinien genauen Aufschluss gewinnen, so müsste man an einem Narkotisierten die gegenseitige Richtung der Pupillenachsen feststellen und, zur Bestimmung der gesuchten Richtung der Gesichtslinien, den im wachen Zustande gemessenen, von Pupillenachse und Gesichtslinie eingeschlossenen Winkel ($\varkappa$) in Rechnung bringen (S. 724).

Solche offenbar sehr schwierige Untersuchungen sind noch nicht vorgenommen worden. Das nur geht aus der Betrachtung von Bewusstlosen und Toten mit Sicherheit hervor, dass die Gesichtslinien, im Zustande absoluter Ruhe, der Regel nach divergieren. Konvergenz, sowie namhafte Höhenabweichungen derselben, sind fast immer pathologisch.

Damit stimmen denn auch die mit subjektiven Methoden gewonnenen Resultate um so mehr überein, je mehr es ihnen gelingt, sich den erwähnten, die gegenseitige Richtung der Augen beherrschenden Einflüssen zu entziehen.

Führen wir kurz die hauptsächlichsten, zu diesen Untersuchungen vorgeschlagenen Methoden an. Die Kritik derselben ergiebt sich aus dem oben Gesagten von selbst.

Um die binokulare Fusion unmöglich zu machen, setzte A. v. Graefe, bei seinem sogenannten »Gleichgewichtsversuche«, vor eines der beiden Augen ein in vertikaler Richtung so stark ablenkendes Prisma, dass die dadurch erzeugten Doppelbilder nicht zur Vereinigung gebracht werden konnten. Wählt man außerdem als Fixierobjekt eine möglichst weit entfernte Kerzenflamme, so ist auch der aktive Einfluss der Akkommodation herabgesetzt. Stehen die beiden Bilder der Kerzenflamme nicht genau übereinander, so giebt die Stärke des horizontal brechenden Prismas, welches dieselben in eine Vertikale bringt, den Grad der Divergenz, resp. Konvergenz der Gesichtslinien an.

Um Höhendifferenzen zu finden, geht man in analoger Weise vor. Man ruft erst, mit Hilfe eines dem Individuum unüberwindlichen abducierenden Prismas, horizontale Diplopie hervor, und sucht dann das vertikal brechende Prisma, welches die beiden Bilder auf gleiche Höhe bringt.

Um das Wechseln der Prismen zu vermeiden, benutzt man zweckmäßig Herschel's Doppelprisma (Fig. 243).

Die Tangenteneinteilung der Wand macht die Untersuchung noch viel einfacher, da man den Ablenkungswinkel der Gesichtslinien darauf gleich ablesen kann. Ja diese Art der Bestimmung ist sogar noch genauer, als diejenige mit den Prismen. Die Augen haben nämlich eine große Tendenz zur Symmetrie, und machen unwillkürlich die nötige Anstrengung, um die Bilder in die gleiche Vertikale oder Horizontale zu bringen, auch wenn das Prisma ihre Ablenkung nur unvollkommen korrigiert.

Dieser Versuch ist in mancherleiweise modifiziert worden. Unsere amerikanischen Kollegen, namentlich Herr Geo. E. Stevens, haben demselben, mittelst verschiedener kunstreicher Apparate, mathematische Genauigkeit zu geben versucht. Es lässt sich allerdings fragen, ob so große Genauigkeit in der Bestimmung der Augenbewegung überhaupt erreichbar ist.

Stevens' »Phorometer« (152a) enthält zwei Prismen von 5°, die sich in graduierten Ringen, jedes vor einem Auge, in entgegengesetztem Sinne drehen lassen. Die Richtung derselben lässt sich, mit Hilfe einer am gleichen Fuße angebrachten Wasserwage, genau feststellen.

H. Wilson's Phorometer besteht hauptsächlich aus zwei Teilen, welche, durch einen horizontalen Arm verbunden, jeder vor ein Auge des zu Untersuchenden gebracht und von einem am Tische anzuschraubenden Fuße getragen werden.

Vor dem einen Auge lassen sich, in einer excentrischen Scheibe, eine leere Öffnung, ein konvexer Cylinder von 10 D., ein aus zwei mit der Basis zusammenstoßenden Prismen bestehendes Doppelprisma, ein einfaches Prisma von 5° und eines von 7°5 vorbeiführen. Der Cylinder dient dazu, nach Maddox's Prinzip, die fixierte Flamme für das durch denselben blickende Auge in einen Lichtstreif zu verwandeln, das Doppelprisma dazu, dieselbe in monokularen Doppelbildern erscheinen zu lassen. Die Prismen sollen binokulare Diplopie hervorrufen. Vor dies Auge lässt sich außerdem noch ein mit dem Instrumente verbundenes rotes, oder irgend ein anderes Glas aus dem Brillenkasten setzen.

Vor dem anderen Auge befindet sich ein Herschel'sches Doppelprisma, das, um 90° drehbar, in horizontaler sowohl als vertikaler, oder intermediärer Wirkungsweise gebraucht werden kann.

Die genau horizontale Stellung der beiden Teile wird durch eine Schraubenvorrichtung gesichert und durch eine Wasserwage kontrolliert.

Das Fixierobjekt wird entweder in großer Entfernung oder, zur Untersuchung des Nahesehens, auf einem 39 cm langen horizontalen, mit dem Fuße des Instrumentes verbundenen Stabe angebracht, auf welchem es sich verschieben lässt.

Bei der Untersuchung sollen die Augen etwa 16 cm von dem Instrumente entfernt sein.

Die Verwendung des Instrumentes geht schon aus der Anführung seiner Bestandteile hervor. Es enthält die zur Trennung der Bilder der beiden Augen, sowie zur Hervorrufung von Doppeltsehen, oder von Fusion verwendbaren Gläser, ausgezeichnet gearbeitet und handlich vereinigt.

Anstatt die Tendenz zu binokularer Fusion durch künstlich hervorgerufene Diplopie unmöglich zu machen, unterdrückt sie E. Maddox (126) dadurch, dass er das Bild, welches das eine Auge vom gemeinschaftlichen Fixierobjekte erhält, künstlich verändert. Das Fixierobjekt ist wiederum eine entfernte Kerzenflamme. Während das eine Auge dieselbe direkt betrachtet, wird dem anderen ein System von dicht aneinander gereihten dünnen, roten Glasstäbchen vorgesetzt. Jeder dieser Glascylinder entwirft von der Kerzenflamme ein zu seiner Achse senkrechtes, linienförmiges Zerstreuungsbild. Da die Cylinder einander parallel sind, gehen alle diese Zerstreuungsbilder, sich verlängernd, ineinander über. Der zu Untersuchende sieht also mit dem freien Auge die Flamme, mit dem anderen eine lange rote Linie.

Zur Bestimmung der horizontalen Abweichung werden die Glasstäbchen horizontal vorgehalten und rufen so eine v e r t i k a l e Lichtlinie hervor. Stehen die Augen richtig, so geht dieselbe durch die Kerzenflamme, divergieren sie, so entsteht gekreuzte, konvergieren sie, homonyme Diplopie. Den Grad der Abweichung misst Maddox mit unserer Tangententeilung, die

auf einer an der Wand um den Fixierpunkt drehbaren Latte angebracht ist. Zur Bestimmung von Höhenabweichungen werden die Glasstäbchen vertikal gestellt. Das Zerstreuungsbild ist eine horizontale Linie und der Grad der Abweichung ergiebt sich wiederum mit Hilfe der Messlatte, die zu diesem Zwecke vertikal gerichtet wird.

Selbstverständlich kann der Grad der Abweichung zwischen beiden Gesichtslinien auch mit Hilfe von Prismen bestimmt werden, und zwar entspricht derselbe dem Ablenkungswinkel des Primas, welches den Lichtpunkt des einen Auges in die Lichtlinie des anderen bringt.

Ähnlich wie Maddox, verändert Geo. E. Stevens (152b) das Bild des einen Auges auf optischem Wege, und zwar mittelst einer Konvexlinse von 13 D., welche, im übrigen bedeckt, im Centrum eine kleine kreisförmige freie Stelle besitzt. Durch dieselbe wird das Bild der Kerzenflamme in einen Zerstreuungskreis verwandelt. Aus der relativen Lage der direkt gesehenen Flamme, und dieses Lichtkreises, wird wiederum auf die relative Richtung der beiden Gesichtslinien geschlossen.

Donders war es, welcher die Gleichgewichtsstellung der Augen im Dunkeln, und mit Hilfe eines elektrischen Funkens zu bestimmen suchte. Ist eines der Augen mit einem farbigen Glase bedeckt, so gelingt es einem intelligenten Menschen leicht, anzugeben, ob er den Funken einfach oder doppelt, und in welchem Sinne doppelt sieht.

Um auch den Grad der Ablenkung zu messen, hat Snellen folgende sinnreiche Methode angegeben: Der zu Untersuchende wird in einen dunkeln Raum gebracht. Ihm gegenüber, in möglichst großer Entfernung, befindet sich ein horizontales Brett mit einer Reihe von hinten beleuchteter, mit rotem Glase bedeckter Öffnungen. Unter einer dieser Öffnungen ist eine andere, mit grünem Glas bedeckte Öffnung angebracht. Der Untersuchte trägt eine Brille mit einem grünen und einem roten Glase, und zwar sind diese Farben denjenigen der Öffnungen komplementär, so dass das eine Auge nur die roten Lichtpunkte, das andere nur den grünen Punkt sieht. Der Untersuchte hat dann anzugeben, unter welchem der roten Punkte ihm der grüne Punkt zu liegen scheint. Aus dem Abstande zwischen dem wirklichen und dem scheinbaren Orte des grünen Lichtes ergiebt sich wiederum der Ablenkungswinkel der Gesichtslinien.

Nach Priestley Smith (135) kann der von einem Ophthalmoskop erzeugte Hornhautreflex dazu dienen, objektiv die Richtung anzugeben, welche die Augen bei aufgehobenem Binokularsehen annehmen, da das von dem Spiegel reflektierte Bild der Lichtquelle jeweilen nur ein Auge allein trifft. Man lässt also den zu Untersuchenden, im dunkeln Raume, geradeaus in die Ferne schauen, und wirft das Licht abwechselnd auf das eine und das andere Auge. Aus der relativen Lage des Reflexes auf beiden Augen kann man auf die gegenseitige Lage ihrer Hornhautachsen, und aus dem

Verhältnis der Hornhautachsen zu den Gesichtslinien auf die gegenseitige Richtung der letzteren schließen. Der Autor benutzt diesen Kunstgriff vorzugsweise zur Prüfung auf Strabismus, indem er den Patienten anweist, den Augenspiegel zu fixieren und dann, beobachtet, ob der Reflex in beiden Augen die gleiche Lage zum Pupillarrande innehabe oder nicht.

Genauere Resultate erhält man, wenn man das eine Auge des zu Untersuchenden in den Mittelpunkt eines Perimeters bringt, und ein in der Verlängerung des durch den Scheitel-, resp. Nullpunkt des Bogens liegendes, möglichst weit entferntes Objekt fixieren lässt, das dem anderen Auge, eventuell einfach durch leichte Schiefstellung des Perimeterbogens, verdeckt ist. Die Richtung dieses letzteren, von der Fixation ausgeschlossenen Auges, bestimmt man mittelst einer kleinen Flamme, die man der Innenseite des Bogens entlang führt, bis ihr Reflex dem mit ihr auf dem gleichen Radius befindlichen Auge des Beobachters im Mittelpunkte der Pupille erscheint. Man liest den dieser Stellung entsprechenden Grad am Perimeterbogen ab, und findet die Richtung der Gesichtslinie dieses Auges mit Hilfe des Winkels $\varkappa$. Mit einem Wort, man geht hierbei in derselben Weise vor, wie bei der objektiven Bestimmung des Schielwinkels (S. 723). Die absolute Ruhelage ergiebt sich allerdings auch auf diese Weise nicht, sondern nur die relative, d. h. diejenige beim Blick in große Entfernung und Aufhebung des Binokularsehens.

Eine sehr sinnreiche Vorrichtung zur objektiven Messung sogenannter latenter Ablenkungen eines Auges hat W. Czermak angegeben. Sie beruht ebenfalls auf der Beobachtung des Hornhautreflexes des nicht fixierenden Auges und ergiebt, wenigstens für die Ablenkungen in der Horizontalebene, sehr genaue Resultate. Die eingehende Beschreibung des nicht ganz einfachen Apparates möchte uns jedoch etwas zu weit führen. Wir verweisen den Leser deshalb auf die Originalarbeit des Erfinders (183).

Bestimmung des Binokularsehens.

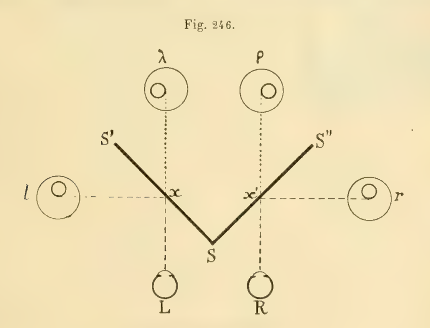
§ 230. Zum binokularen Sehen müssen die Augen einmal gleichzeitig auf das Fixierobjekt gerichtet sein. Sodann müssen sie das von demselben in der Fovea jedes Auges entstehende Bild gleichzeitig wahrnehmen, und endlich muss, aus der Verschmelzung dieser beiden Bilder — falls sie perspektivisch verschieden sind — für das Individuum der Eindruck des Plastischen, der Tiefendimension hervorgehen.

Um sich über das erste Erfordernis Rechenschaft zu geben, lässt man den zu Untersuchenden nach einer entfernten Flamme blicken und bedeckt das eine seiner Augen mit einem roten Glase. Sieht er die Flamme einfach, so hat man festzustellen, ob er sie binokular oder nur monokular einfach sieht. Giebt er unzweifelhaft an, dass ihm, bei Ausschluss des

freien Auges, die Flamme gesättigter rot erscheint, als wenn er beide Augen offen hält, so ist festgestellt, dass beide Augen gleichzeitig nach dem Objekte gerichtet sind und dasselbe auch gleichzeitig wahrnehmen. Sehr häufig aber geben sich die Untersuchten über die größere oder geringere Sättigung der Farbe der Flamme nicht Rechenschaft. Man hält dann vor das eine Auge ein vertikal brechendes Prisma. Trennt sich dann das eben einfache Bild der Flamme in zwei übereinander stehende Bilder, so ist anzunehmen, dass das einfach gesehene Bild aus der Verschmelzung der Bilder der beiden Augen hervorgegangen sei. So ganz absolut sicher ist dies nun allerdings noch nicht. Kommt es doch vor, dass, beim beidäugigen Sehen, das Foveabild des einen Auges nicht wahrgenommen wird, wohl aber das durch ein Prisma hervorgerufene excentrische Netzhautbild. Und ferner giebt es Fälle, wo auch die scheinbar gleichzeitige Wahrnehmung centrischer oder excentrischer Netzhautbilder nur ein sehr rasch wechselndes, alternierendes Sehen ist.

Zur Untersuchung, ob beide Augen oder nur eines, und welches zum Sehen benutzt wird, bedient sich Snellen seiner roten und grünen Buchstaben. Trägt der Patient vor dem einen Auge das grüne Glas, welches

Fig. 246.



Wheatstone's Spiegelstereoskop.

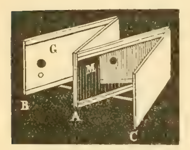
die roten, vor dem anderen das rote Glas, welches die grünen Buchstaben auslöscht, so liest er nur dann die Buchstaben alle fließend, wenn er beide Augen zum Sehen verwendet. Damit ist aber allerdings weder alternierendes Sehen ausgeschlossen, noch weniger wirkliches Binokularsehen bewiesen.

Genaueren Aufschluss über diese Zustände erhält man durch die Untersuchung mit stereoskopischen oder, nach Hering, haploskopischen (89 u. 91) Vorrichtungen.

Der Zweck derselben ist, jedem Auge ein besonderes Bild darzubieten, die beiden Bilder aber zu einem einzigen Gesichtseindrucke verschmelzen zu lassen.

Das erste Instrument dieser Art erfand Wheatstone (1) (Fig. 246). Er stellte zwei Spiegel (SS' und SS''), mit der spiegelnden Fläche nach außen, unter einem rechten Winkel zusammen, und brachte, zu beiden Seiten derselben, die zu verschmelzenden Bilder l und r, so an, dass sie in die beiden Augen des Beobachters reflektiert wurden. Ein des binokularen Sehens Tüchtiger sieht dann die Bilder (λ und ϱ) zu einem Sammelbilde verschmolzen, namentlich wenn er optisch genau auf dieselben eingestellt ist. Stoßen nämlich die Spiegel unter einem rechten Winkel zusammen, so erfordert das gleichzeitige Sehen der beiden Bilder Parallelismus der Sehachsen, und damit ist wohl meistens Erschlaffung der Akkommodation verbunden.

Fig. 247.



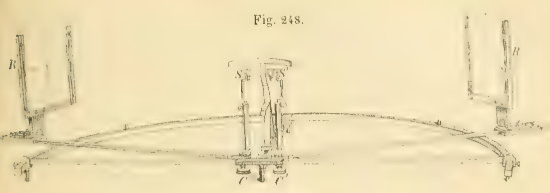
Javal's Spiegelstereoskop.

Um die gegenseitige Richtung der Augen verändern zu können, hat Javal (59) die beiden Spiegel des Wheatstone'schen Stereoskopes, in A (Fig. 247), durch ein Charnier verbunden, so dass sie sich beliebig gegeneinander neigen lassen, während die Brettchen B und C, welche die Bilder tragen, unter einem Winkel von 45°, fest mit den Spiegeln verbunden sind. Ist der Neigungswinkel der Spiegel kleiner als 90°, so müssen die Augen konvergieren, ist er größer, divergieren, um gleichzeitig auf die beiden Bilder gerichtet zu sein.

Eine ganz vorzügliche Anwendung hat Wheatstone's Prinzip in Hering's Haploskop gefunden (89). Der zu wissenschaftlichen Experimenten besonders geeignete Apparat besteht (Fig. 248) aus einer festen Stütze für den Kopf des zu Untersuchenden, sodann aus zwei Schienen, einer linken und einer rechten, welche um die Punkte C' und C'' drehbar sind. Der Kopf wird so eingestellt, dass sich die Drehpunkte der Augen möglichst genau über denjenigen der Schienen befinden. Die Schienen tragen, auf vertikalen Stativen, einmal die Spiegelchen S und S', sodann die Rahmen R und R'. Die Spiegel sind um 45° gegen die Rahmen geneigt und behalten diese Stellung, sowie auch ihre Lage zu den Drehpunkten der Augen bei, welches auch die Richtung der Schiene sei. Die Rahmen sind bestimmt, die Sehobjekte aufzunehmen. Sie können, auf den Schienen gleitend, den Spiegeln beliebig genähert werden.

Hering's Haploskop unterscheidet sich also von Wheatstone's beweglichen Spiegelstereoskop einmal dadurch, dass sich die Spiegel separat, und um die Drehpunkte der Augen drehen, sodann dadurch, dass sich die Entfernung der Objekte von den Augen verändern lässt.

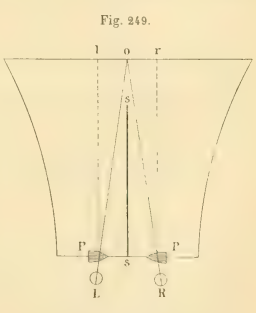
Fig. 248.



E. Hering's Haploskop.

Verwendet man in den Spiegelstereoskopen Figuren, durch deren Verschmelzung die Tiefenwahrnehmung zu stande kommen soll, so ist nicht zu vergessen, dass, wie Fig. 246 zeigt, im Spiegel links und rechts vertauscht erscheint, man also das dem linken Auge entsprechende Bild vor den rechten, das dem rechten bestimmte vor den linken Spiegel zu bringen hat, sonst erhält man den entgegengesetzten (pseudoskopischen) Eindruck: was tief erscheinen soll, erscheint erhaben und umgekehrt.

Fig. 249.



Brewster's Stereoskop.

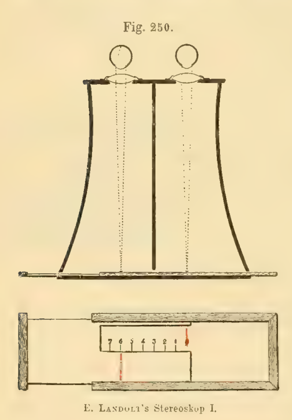
Das bekannteste und am weitesten verbreitete Stereoskop ist wohl Brewster's (5) Prismenstereoskop (Fig. 249). Die den beiden Augen L und R entsprechenden Bilder l und r befinden sich auf dem Boden eines Kastens und werden durch die adducierenden mit leicht konvexen Oberflächen versehenen Prismen PP betrachtet. So gelingt es, die beiden Bilder, deren gegenseitiger Abstand den der Augen sogar übertreffen kann, doch mit nach o konvergierenden Gesichtslinien zu sehen. Die Scheidewand ss dient dazu, dem linken Auge das Gesichtsfeld des rechten, dem rechten das des linken zu verdecken. Sie dürfte, in der That, noch weiter gehen, als in der Figur angedeutet ist.

Ganz nach demselben Prinzip ist Holmes' Stereoskop gebaut, nur ist der Kasten weggelassen, und der Objektträger mit den Prismen durch eine Schiene verbunden, auf welcher er den letzteren genähert, oder davon entfernt werden kann. Der sehr einfache und leichte Apparat kann, mittelst eines Griffes, in der Hand gehalten werden.

Schon Brewster, später Helmholtz (36), haben die Bilder den beiden Augen mit parallelen Gesichtslinien dadurch deutlich sichtbar gemacht, dass sie die Augen, mit Ausschluss der Akkommodation, optisch auf die Entfernung derselben adaptierten. Man heißt diese Art Stereoskope Linsenstereoskope.

Nach diesem Prinzip haben wir unser erstes Stereoskop konstruiert, das sich nicht nur zur Prüfung des Vorhandenseins, sondern auch zur Heranbildung des binokularen Sehens eignet.

Fig. 250.



E. Landolt's Stereoskop I.

Der Einfachheit halber haben wir dazu den im Handel vorkommenden Kasten des Brewsterschen Stereoskopes gewählt (111a) (Fig. 250).

Auf dem Grunde desselben befinden sich die Sehobjekte, auf welche die Augen so eingestellt werden, dass sie sie ohne Anstrengung der Akkommodation deutlich sehen. Diese optische Adaptation wird einfach durch in die Fassungen der Okularöffnungen eingeführte Gläser des gewöhnlichen Brillenkastens bewerkstelligt. Beträgt die Höhe des Kastens 16 cm, so erfordert die Einstellung auf die Sehobjekte 6 D. positiver Refraktion. Ein Emmetrope wird dazu also Konvex 6 brauchen.

Ein hypermetropisches Auge von 1 D. braucht zum deutlichen Sehen Konvex $6 + 1 = 7$ D., ein myopisches von 1 D., $6 - 1 = 5$ D. Ein Mensch mit zwei myopischen Augen von 6 D. sieht die Bilder ohne Gläser, ein stärkerer Myope sogar mit Konkavgläsern deutlich.

Die Brillenfassung ist doppelt, und zwar einmal zur Aufnahme von Cylindergläsern, wenn Astigmatismus besteht und der Untersuchte die korrigierende Brille nicht sonst schon trägt. Sie kann aber auch zur Aufnahme von Prismen dienen. Mit Hilfe derselben lassen sich Konvergenz, Divergenz, und Höhendifferenzen zwischen den Augen ausgleichen.

Denselben Zweck erreicht man auch durch die Veränderung der relativen Lage der Sehobjekte, welche nicht nur einander genähert und voneinander entfernt werden können, sondern auch eine Verschiebung in der darauf senkrechten Richtung, sowie Drehung um ihre Achse gestatten.

Es giebt noch eine große Zahl stereoskopischer Vorrichtungen, deren Beschreibung wir unmöglich hier geben können. Mehrere derselben findet der Leser in Aubert's schon erwähntem Kapitel der ersten Auflage dieses Werkes, sowie in E. Landolt's Kapitel über die Motilitätsstörungen in Norris and Oliver's »System of diseases of the eye« IV, S. 107, 1900.

Die Sehobjekte für stereoskopische Untersuchungen.

§ 231. Handelt es sich darum, festzustellen, ob beide Augen gleichzeitig Gesichtseindrücke wahrzunehmen im stande sind, so bilden die leuchtenden Punkte in Priestley Smith's Fusion-tubes (155) sehr zweckmäßige Sehobjekte.

In gewöhnlichen Stereoskopen kann man, nach Javal's Vorgang, dem einen Auge eine Oblate, dem anderen eine horizontale Reihe solcher Oblaten vorführen. Die letzteren sind numeriert, während die erstere, als Erkennungszeichen, einen schwarzen Punkt trägt. So wird es möglich, zu erkennen, mit welcher Oblate der Serie die einzelne zur Vereinigung kommt. In unserem Stereoskope benutzen wir hierzu einmal die in Fig. 250 dargestellten Striche. Auf dem einen Objektträger befindet sich unter den Horizontalen, zwischen zwei schwarzen, vertikalen Linien, eine rote, auf dem anderen Objektträger, über der Horizontalen, die gleiche Gruppe von Linien. Werden die beiden Bilder gleichzeitig gesehen, so gehen die Linien so ineinander über, dass sie das ganze gemeinsame Gesichtsfeld durchlaufen. Nachdem man dem zu Untersuchenden, durch Übereinanderschieben der Objektträger, begreiflich gemacht hat, was er sehen soll, bringt man die Bilder, in ungefähr gleichem Abstande von der Scheidewand des Stereoskopes, jedes vor ein Auge, und überlässt es dem Patienten, die Entfernung derselben aufzusuchen, bei welcher ihm die Verschmelzung gelingt.

Sehr gute Dienste thun uns auch folgende einfache Sehobjekte. Jedes Auge hat vor sich einen roten Kreis von ungefähr 1 cm Durchmesser. Der eine enthält eine horizontale, der andere eine vertikale schwarze Linie. Bei Verschmelzung der Kreise bilden die Linien ein Kreuz. Die Gesichtsobjekte können einander nicht nur genähert oder voneinander entfernt werden, sondern auch ihre Lage zur Horizontalen lässt sich nach Belieben verändern. Der horizontale sowie der vertikale, relative Abstand der beiden Objekte wird durch eine Millimeterteilung angegeben.

Statt solcher einfacher Figuren, haben John Green, Javal, Fromont, Aguilar, Kroll, Dahlfeld, Hegg u. a. Buchstaben, Lesestücke, Bilder aller

Art zur Stereoskopie angegeben. Die Phantasie hat ja in der Herstellung solcher Sehobjekte einen sehr weiten Spielraum. Es ist dabei nur zu beachten, dass solche Bilder leichter gleichzeitig gesehen werden, denen gewisse Teile gemeinsam sind. So stoßen z. B. die oben beschriebenen roten und schwarzen Linien unseres Stereoskopes nicht nur aneinander, sondern die des einen Feldes decken sich zum Teil mit denen des anderen. Die beiden Gesichtsfeldern gemeinsamen roten Kreise rufen geradezu die binokulare Fusion. Auch in Javal's und Dahlfeld's Bildern ist diesem Prinzip Rechnung getragen.

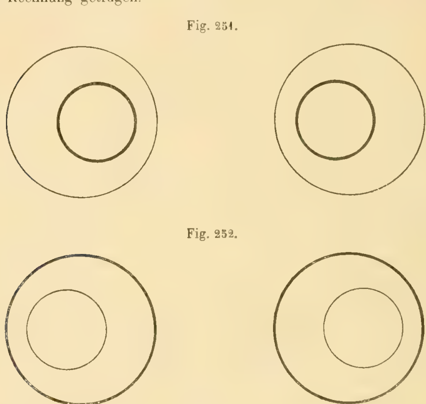


Fig. 251.

Fig. 252.

Vor allen Dingen aber dürfen wir nicht vergessen, dass die angeführten Versuche, auch wenn sie leicht gelingen, zwar simultanes Sehen beweisen, aber noch nicht den Ausdruck des vollkommenen Binokularsehens darstellen. Dazu gehört die Tiefenwahrnehmung, der Eindruck des Körperlichen. Um zu erforschen, ob derselbe vorhanden ist, müssen wir dem zu Untersuchenden von einem Körper mit drei Dimensionen zwei Ansichten darbieten, die so voneinander verschieden sind, wie der Körper sich darstellt, wenn er gleichzeitig von dem linken und von dem rechten Auge betrachtet wird. Dazu sind solche Figuren die zweckmäßigsten, von denen jede allein noch keine körperliche Bedeutung hat, während die Tiefenwahrnehmung durch die Verschmelzung der Gesichtseindrücke der beiden Augen zu stande kommt.

Dies ist der Fall z. B. mit nebenstehenden excentrischen Kreisen. In Fig. 251 vereint, werden sie zu einem dem Beschauer zugekehrten, in Fig. 252 zu einem von ihm abgewandten, abgestutzten Kegel (Hirt).

Handelt es sich mehr um Übung des binokularen Sehens, so kann man alle möglichen Bilder verwenden, selbst wenn sie allein schon den Eindruck der Tiefe, der dritten Dimension geben, wie stereometrische Figuren, ein Haus, eine Allee, das Innere einer Kirche. Es ist dabei allerdings ratsam, die beiden Bilder mit Merkzeichen zu versehen, die es möglich machen, zu kontrollieren, ob der Untersuchte mit beiden Augen sieht oder nur mit einem, und mit welchem.

In pathologischen Fällen (Strabismus) scheitern nur zu häufig die Versuche, mit den angeführten Stereoskopen Binokularsehen zu erzielen. Dies liegt nicht nur an der mangelhaften Intelligenz und Geduld der Patienten, an Mangel an Zeit und Hingebung von seiten des Arztes, sondern auch daran, dass, wenn, wie in diesen Stereoskopen, beiden Augen ungefähr gleichwertige Sehobjekte dargeboten werden, der Eindruck des gewöhnlich zum Sehen verwendeten Auges den des anderen so sehr an Intensität übertrifft, dass er allein zur Wahrnehmung gelangt.

Man kann nun allerdings versuchen, durch mehr oder weniger rasch aufeinander folgendes Zu- und Abdecken des guten Auges, die Aufmerksamkeit des Patienten auf das Bild des anderen Auges zu lenken, bis endlich beide Gesichtseindrücke gleichzeitig wahrgenommen werden. Diese Methode ist jedoch höchst unbequem, und der Verschmelzung der Bilder schon deswegen nicht sehr förderlich, weil der Patient das eine derselben nur dann sieht, wenn das andere ausgeschlossen ist.

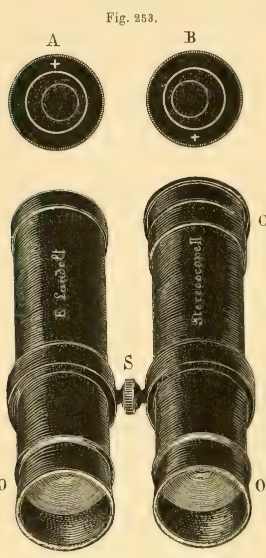
Wir haben deshalb versucht, bei Offenstehen beider Augen, dem sehschwachen Auge ein so lichtstarkes Bild darzubieten, dass sich das Bewusstsein dem Eindruck desselben nicht entziehen kann, und das um so weniger, als sich das dem gesunden Auge entsprechende Bild gleichzeitig beliebig abschwächen lässt.

Diesen Zweck erreichen wir mittelst des in Fig. 253 dargestellten Stereoskopes (165). Dasselbe besteht aus zwei ungefähr 12 cm langen Röhren, die durch ein Kugelgelenk S miteinander verbunden sind. Jedes Rohr enthält, als Okular, ein Konvexglas (O und O'), das, zur Abhaltung fremden Lichtes, in der Tiefe einer trichterförmig ausgeweiteten Hülse steckt. In der Brennebene der Gläser werden, am anderen Ende der Röhren, die Sehobjekte A und B angebracht. Dieselben bestehen aus einfachen Figuren, deren Bilder sich leicht fusionieren lassen und deren Verschmelzung den Eindruck der Tiefe, des Körperlichen hervorruft. Sie sind durchsichtig, auf weißem, matten Glase, und heben sich von dem undurchsichtigen, schwarzen Grunde um so stärker ab, gegen eine je hellere Fläche das Stereoskop gerichtet wird.

Die Lichtstärke des Bildes des einen Auges lässt sich durch Rauchgläser, welche, in der Kapsel *C*, dem einen Okulare vorgesetzt werden, beliebig abschwächen[1]).

Zur Untersuchung werden erst die zwei Figurenplatten, mittelst den an ihrer Fassung sowohl wie an den Objektivenden der Röhren angebrachten Marken, in der erforderlichen Stellung eingesetzt. Dann giebt man das Instrument dem Patienten in die Hände, und lässt ihn durch dasselbe nach dem hell beleuchteten Himmel schauen. Er wird erst nur das seinem gewöhnlich gebrauchten Auge entsprechende Bild wahrnehmen. Man bringt dann vor das Objektiv dieses Rohres so viele Rauchgläser, bis auch das Bild des schwachen Auges vollkommen deutlich wahrgenommen wird. Ist einmal der Wettstreit der Sehfelder überwunden und gleichzeitiges Sehen erreicht, so wird der Patient angewiesen, die verschiedenen Teile der beiden Bilder gegenseitig zur Deckung zu bringen. Es gelingt ihm dies unschwer, gestattet doch das Kugelgelenk, jede gewünschte Annäherung, Entfernung, Niveaudifferenz, ja sogar Neigung der Bilder gegeneinander, hervorzubringen. Letztere lässt sich auch erreichen, resp. ausgleichen, durch Drehung der Bilder in ihrer Fassung.

Fig. 253.



E. Landolt's Stereoskop II.

Ist einmal das gleichzeitige Sehen und die Deckung der beiden Bilder erreicht, so tritt der aus der Verschmelzung derselben hervorgehende, stereoskopische Eindruck gewöhnlich überraschend schnell ein.

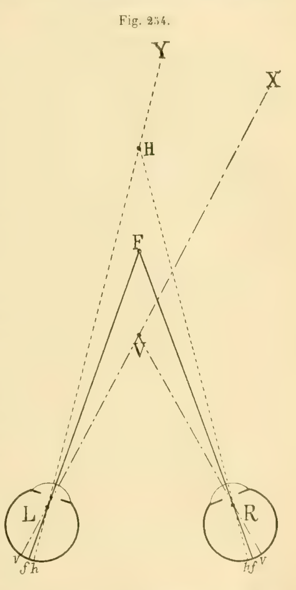
Es versteht sich von selbst, dass bei diesem, wie bei jedem Stereoskope,

1) Versuche, die Dämpfung des Lichtes mittelst einer Irisblende zu bewerkstelligen, haben uns bisher noch kein befriedigendes Resultat gegeben.

die Augen, namentlich das schwächere Auge, auf die Entfernung der Objekte optisch genau eingestellt sein müssen. Man lässt also den Patienten bei diesen Versuchen seine Brille tragen, oder benutzt als Okular die aus der Kombination seiner Korrektionsgläser mit den gewöhnlichen Linsen des Stereoskopes resultierenden Gläser.

Den sichersten Beweis vom Vorhandensein vollkommenen Binokularsehens liefert wohl HERING's Fallversuch. Derselbe besteht, dem Prinzip nach, in folgendem: Der zu Untersuchende wird angewiesen, durch eine im vertikalen Sinne abgeflachte Röhre, welche beiden Augen jedes andere Gesichtsobjekt entzieht, nach einem in der Mitte dieses Gesichtsfeldes, an einem dünnen Faden befestigten, im Bereiche des deutlichen Sehens liegenden Kügelchen zu schauen. Dasselbe muss sich auf einem entfernten, hellgrauen Grunde deutlich abheben.

Fig. 254.



Nun lässt man, bald vor, bald hinter diesem Fixierobjekte, kleine Kugeln fallen. Besitzt der Untersuchte vollkommenes Binokularsehen, so kann er leicht angeben, ob die Kugel näher oder ferner als das Fixierobjekt gefallen sei. Ist dagegen sein Binokularsehen nicht ganz tadellos, bedient er sich namentlich nur eines Auges zum Fixieren, so ist ihm dies unmöglich. Er kann die Frage nicht beantworten und, antwortet er aufs Geratewohl, so täuscht er sich notwendigerweise in der Hälfte der Fälle. In der That durchläuft die Kugel das durch das Rohr sehr beschränkte Gesichtsfeld so rasch, dass der Untersuchte nicht Zeit hat, weder durch successives Fixieren mit jedem Auge, noch durch Veränderung seiner Akkommodation, noch durch eine, Parallaxe herbeiführende Kopfbewegung, sich von der relativen Lage der Kugel zum

Fixierobjekte Rechenschaft zu geben. Dazu bedarf er unumgänglich der Verwertung der Netzhauteindrücke, welche seine beiden Augen gleichzeitig erhalten.

In der That, sei (Fig. 254) L das linke, R das rechte Auge des Untersuchten, F der Fixierpunkt, f, in beiden Augen, die Fovea. Fällt die Kugel in H, so entsteht ihr Netzhautbild im linken Auge in h. Bedient sich der Untersuchte dieses Auges allein zum Fixieren, so weiß er nur, dass der Punkt H in der Richtung hY liegt. Über den Ort desselben ist er aber durchaus im Unklaren. Derselbe kann diesseits wie jenseits von F gelegen sein. Erst wenn auch sein rechtes Auge sich am Sehakte beteiligt, ist er jedem Zweifel enthoben, denn, da auch in diesem Auge R, das Netzhautbild h des Punktes H nasalwärts von der Fovea zu stande kommt, so muss der Punkt H notwendigerweise jenseits F liegen, und zwar da, wo sich die beiden Sehlinien schneiden.

Dasselbe findet statt, wenn die Kugel diesseits des Fixierobjektes, in V, fällt, und in v ihr Netzhautbild entsteht. Linksäugig allein gesehen, könnte sie ebenso gut jenseits F, auf der Strecke LX gelegen sein. Die beidäugige Betrachtung aber bestimmt unzweifelhaft ihren Ort in V, diesseits F, weil die beiden Netzhautbilder v temporalwärts von der Fovea liegen.

Eine Modifikation des Fallversuches bildet Hering's Stäbchenversuch. Man lässt den Patienten, wie beim ersteren, durch eine schwarze Röhre sehen. Vor derselben befinden sich, in mäßiger Entfernung, drei vertikale, in verschiebbaren, dem Patienten unsichtbaren Ständern befestigte Stäbchen, die mit ihren Spitzen die Röhre überragen, und um einige Centimeter verschieden weit entfernt sind von der durch die Knotenpunkte der zu untersuchenden Augen gehenden Ebene. Der Untersuchte muss angeben, wie weit er die einzelnen Stäbchen nach vorn oder rückwärts verschoben haben will, damit sie in einer Ebene, und alle drei gleich weit von ihm entfernt zu sein scheinen. Bei mangelndem Binokularsehen fällt dieser Versuch negativ aus, d. h. der Untersuchte dirigiert das eine oder andere Stäbchen zu weit oder zu nahe. Der Stäbchenversuch ist wohl weniger sicher als der Fallversuch, bei welchem der Untersuchte auf eine momentane Beobachtung allein angewiesen ist.

Donders hat Hering's Experiment in seinem Ptotostereoskope (61, 62) insofern modifiziert, als die Kugeln, ob sie näher oder ferner fallen, das Gesichtsfeld immer mit gleicher Geschwindigkeit, d. h. im gleichen Zeitraum durchlaufen.

Englische Kollegen (147b) haben das vertikale Stäbchen beim Fallversuche durch einen horizontalen Faden ersetzt. In seiner ursprünglichen, von Hering angegebenen Form thut er uns in der Praxis vorzügliche Dienste. Ja wir möchten sagen, er sei hie und da nur zu fein, insofern als es wohl vorkommt,

dass Leute unzweifelhaft binokulares Sehen und Tiefenwahrnehmung besitzen, ohne dass ihnen der Fallversuch ganz sicher gelingt. Diejenigen aber, die ihn richtig bestehen, haben jedenfalls des Binokularsehens höchste Stufe erreicht.

Untersuchung der Richtung der Augen beim Nahesehen.

§ 232. Zur Untersuchung der gegenseitigen Richtung, sowie der Bewegungen der Augen beim Lesen und überhaupt beim Sehen in der Nähe, haben wir folgende einfache Vorrichtung angegeben, die man mit dem Namen des Kinophthalmoskopes bezeichnen mag (134 und 170 h). Sie besteht in einer von einem Stiele getragenen Glasplatte. Darauf werden Lesestücke, Figuren, horizontal, schief, vertikal angeordnete Zahlenreihen, kurz die gewünschten Sehobjekte geklebt. Während der zu Untersuchende die Glasplatte in der Hand hält, die Sehzeichen entziffert, den Linien mit seinen Augen folgt, betrachtet der Beobachter die Richtung und Bewegung der Augen, von der anderen Seite, durch die Platte.

Man kann auf diese Weise nicht nur konstatieren, ob der Untersuchte beide Augen gleichzeitig, oder abwechselnd das eine und das andere, oder nur ein Auge, und welches, zur Arbeit benutzt, sondern auch wie viele Sakkaden er braucht zum Durchlaufen einer Linie von gegebener Länge (resp. eines gegebenen Winkels), wenn dieselbe von verschiedenen Sehobjekten: gewohntem Drucke, Fremdwörtern, Zahlen u. dgl. ausgefüllt ist.

Wir haben gefunden (127), dass normale Augen, wenn sie sich von einem Punkte auf einen anderen richten, diese geradlinige Bahn durchaus nicht in einem Zuge, sondern ruckweise durchlaufen. Auch wenn kein Objekt ihre Aufmerksamkeit fesselt, so unterbrechen die Augen doch ihre Exkursion nach einem Bogen von 7 bis 8°, durch einen objektiv leicht sichtbaren, und auch im Nachbilde nachweisbaren, kurzen Halt.

Das Lesen gewöhnlichen Druckes, in einer Entfernung von 30 cm, geschieht mit Sakkaden von etwas mehr als 3°, in 60 cm mit solchen von nahezu 2°. Besteht die Linie aber aus unzusammenhängenden Eigennamen, so stehen die Augen bei jedem derselben einen Augenblick still. Dasselbe scheint auch bei Zahlen stattzufinden. Sind dieselben hart aneinandergereiht, so werden die Sakkaden so klein, dass sie sich der genauen Beobachtung von bloßem Auge entziehen. Jedenfalls nähern sie sich, bei einer gewissen Entfernung, den kleinsten Exkursionen, welche die Augen noch auszuführen im stande sind, 5′ nach unserer Beobachtung. Es ist dies eine der Ursachen der Ermüdung, welche das Zahlenlesen mit sich bringt.

Zur Kontrolle, ob beide Augen gleichzeitig zum Lesen verwendet werden, oder ob nur das eine liest, und welches, bringt man zwischen die Augen und das Lesestück ein Lineal. Dasselbe verdeckt dem linken Auge einen

Teil der rechten, dem rechten einen Teil der linken Seite des Textes. Der Normalsehende wird dadurch aber im Lesen nicht beeinträchtigt, weil er mit dem rechten Auge sieht, was dem linken verdeckt ist, und mit dem linken, was das rechte nicht sieht. Wer aber nur das eine Auge zum Lesen gebraucht, dem stellt das Lineal ein bedeutendes Hindernis in den Weg. Er stockt einen Augenblick, bis er das andere Auge auf den verdeckten Text gerichtet hat, oder er bewegt den Kopf, um das Hindernis zu umgehen und mit dem gleichen Auge weiter zu lesen. Es ist deshalb geraten, den Kopf bei diesem Versuche zu fixieren, oder, wie dies Javal gethan hat, den Untersuchten durch einen Rahmen blicken zu lassen, welcher mit dem Stabe und dem Lesestücke auf einem Gestelle vereinigt ist.

Priestley Smith (155) verwendet zu diesen Versuchen ein etwa fingerbreites, **Z**-förmiges Stück Eisenblech, dessen unteres, kurzes Ende der Untersuchte mit dem Daumen auf die zu lesende Buchseite drückt, während ihm das obere, längere, vom Buche abstehende Stück den Text teilweise verdeckt.

Untersuchung des Schielens (Strabometrie).

§ 233. Gerade wie z. B. von Optometrie nur dann die Rede sein kann, wenn man über die Begriffe von Refraktion, Akkommodation, Astigmatismus u. s. w. im Klaren ist, so müssen wir uns auch bei der Strabometrie erst, in Kürze wenigstens, darüber verständigen, was unter Schielen zu verstehen sei.

Schielen besteht, wenn die Gesichtslinien der beiden Augen nicht gleichzeitig auf den Punkt gerichtet sind, dem das Individuum seine Aufmerksamkeit zuwendet, wie es das Binokularsehen, d. h. das Zustandekommen der Fusion der beidäugigen Gesichtseindrücke erfordert.

Dieser Zustand kann durch mancherlei Umstände hervorgerufen sein. Wir dürfen die Ursachen des Schielens wohl in folgende drei Gruppen ordnen:

I. Die Lähmung eines oder mehrerer Augenmuskeln,

II. Der Ausfall des binokularen Sehens,

III. Störungen in den, gewissen associierten oder symmetrischen Bewegungen der Augen, vorstehenden Centren: Lähmung der Konvergenz oder Divergenz, konjugierte Deviation der Augen.

Die beiden ersten Ursachen sind die weitaus häufigsten.

Über die Augenmuskellähmungen, welche das paralytische Schielen bedingen, ist man wohl ziemlich einig.

Viel weniger ist dies der Fall in Bezug auf die zweite Kategorie. Dies geht schon daraus hervor, dass man sie bis heute noch als muskuläres Schielen bezeichnet, während doch, wie schon Donders (3, 6a, 18) nachgewiesen, die Muskeln bei der Entstehung dieser Form des Schielens nichts

zu thun haben. Wir haben als Ursache derselben die Abwesenheit des binokularen Sehens bezeichnet. Da das binokulare Sehen der Zweck der gegenseitigen Richtung der Augen ist, so ist es, im Normalzustande, auch der Leiter derselben. Fehlt dasselbe, so ist das Individuum offenbar einer ungehörigen Richtung seiner Augen, d. h. dem Schielen ausgesetzt. In der That fällt dann die gegenseitige Stellung seiner Augen anderen Faktoren anheim.

Der mächtigste derselben ist der Zusammenhang zwischen Konvergenz und Akkommodation. Die erstere vermittelt das binokulare, die letztere das deutliche Sehen des fixierten Gegenstandes. Die beiden, an sich so verschiedenen Funktionen, treten im Normalzustande notwendigerweise immer gleichzeitig auf und haben sich deshalb, seit dem Bestehen des Menschengeschlechtes, so innig miteinander verbunden, dass sie sich schwer gänzlich voneinander trennen lassen.

Die Betrachtung eines unendlich weit entfernten Gegenstandes verlangt von einem mit normalen Augen ausgestatteten Menschen, einem Emmetropen[1]), Akkommodationsruhe und Parallelismus der Gesichtslinien. Nähert sich der Fixierpunkt, so treten beide Funktionen, Konvergenz wie Akkommodation, gleichzeitig in Thätigkeit und nehmen gleichmäßig zu. Liegt der fixierte Punkt in 1 m Entfernung, so erhält jedes Auge einen Innervationsimpuls zu einem Meterwinkel Konvergenz, und einer Dioptrie Akkommodation. Rückt der Punkt auf $^1/_3$ m heran, so wirken 3 Meterwinkel Konvergenz mit 3 Dioptrien Akkommodation zusammen u. s. f.

Die innige Verknüpfung der beiden Funktionen lässt sich leicht in folgender Weise darthun: Man verdecke einem akkommodationstüchtigen Emmetropen ein Auge, und lasse ihn mit dem anderen durch ein Konkavglas in die Ferne sehen. Die in dem freien Auge zur Überwindung des Konkavglases nötige Akkommodationsanstrengung, die auch das verdeckte Auge mitmacht, ruft in dem letzteren eine deutliche Drehung nach innen hervor. Dieselbe ist, wohlverstanden, nicht der Ausdruck einer isolierten Kontraktion des Rectus internus dieses Auges, sondern die Folge der mit der Akkommodation associierten Kontraktion der Interni beider Augen. Die Konvergenzanstrengung tritt jedoch nur auf dem vom Sehakte ausgeschlossenen Auge zu Tage; hier aber in doppelter Ausgiebigkeit, da das andere Auge

1) Selbstverständlich ist unter Normalzustand des Auges nicht nur die absolute Emmetropie zu verstehen, wo der hintere Brennpunkt des Auges genau in die percipierende Schicht der Netzhaut fällt. Leichte Abweichungen davon, geringe Hypermetropie wie Myopie, gehören auch noch dazu. »L'exactitude mathématique n'existe pas en physiologie. Il y a de grosses erreurs, mais aussi de grosses compensations. Il faut considérer les phénomènes biologiques grosso modo, autrement on ne les comprend pas. E. Landolt, Etiologie du strabisme. Arch. d'Opht. Februar 1897.

seine Richtung auf den Fixierpunkt beibehält. Ein Konkavglas von 4 D. würde beispielsweise für jedes Auge eine Konvergenz-, wie eine Akkommodationsanstrengung von 4 Einheiten hervorrufen. Das bedeckte Auge würde sich aber nicht nur um 4, sondern um ungefähr 8 Meterwinkel nach innen bewegen.

Umgekehrt: bewaffnet man das eine Auge des Emmetropen mit einem Konvexglase von 4 D., und lässt es damit in $^1/_4$ m kleine Schrift lesen, wobei also dies Auge keine Akkommodationsanstrengung zu machen braucht, so wird sich das andere, verdeckte Auge, unter dem Einflusse der Akkommodationserschlaffung, dem sehenden Auge ungefähr parallel stellen.

Man kann diese Versuche auch so machen, dass man die beiden Augen des Emmetropen mit starken Konkavgläsern bewaffnet, und ihn damit in die Ferne sehen lässt. Er wird dann sofort inne, wie schwer es ist, Konvergenz und Akkommodation voneinander zu trennen. Entweder sieht er den beobachteten Gegenstand (eine weit entfernte Kerzenflamme) einfach, aber undeutlich wegen der ungenügenden Akkommodation, oder deutlich, aber in gleichnamigen Doppelbildern, wegen der, mit der richtigen Akkommodation verbundenen, übermäßigen Konvergenz.

Ebenso wird derjenige, der mit die Akkommodation neutralisierenden Konvexgläsern in die Nähe blickt, bei richtiger Konvergenz, undeutlich sehen, weil er dabei auch akkommodiert, während, bei deutlichem Sehen, d. h. bei Erschlaffung der Akkommodation, gekreuzte Doppelbilder auftreten, infolge der gleichzeitigen Aufhebung der Konvergenz.

Zum Ausschlusse der Konvergenz kann man auch abducierende, d. h. mit dem Scheitel temporalwärts gerichtete, starke Prismen verwenden. Betrachtet man durch dieselben beidäugig einen nahen Gegenstand, so erfordert das Einfachsehen eine viel geringere Konvergenz, als ohne Prismen der Fall wäre, während das deutliche Sehen immer noch die gleiche Akkommodation erheischt. Auch hier erscheint der betrachtete Gegenstand wiederum entweder binokular einfach, aber undeutlich, wegen der, der verminderten Konvergenz entsprechenden, ungenügenden Akkommodation, oder er erscheint deutlich, aber in gleichnamigen Doppelbildern, weil die richtige Akkommodation von einer, um die Prismenwirkung zu starken Konvergenz begleitet ist.

Das Umgekehrte ist der Fall, wenn ein Emmetrope mit adducierenden, d. h. mit der Kante nasalwärts gerichteten Prismen in die Ferne blickt. Um deutlich zu sehen, muss er seine Akkommodation erschlaffen; dann sieht er aber gekreuzt doppelt, da er nicht auch zu gleicher Zeit die von den Prismen erforderte Konvergenz ausführt. Konvergiert er aber, um einfach zu sehen, so erscheint ihm das entfernte Objekt verwaschen, weil

er zugleich auch akkommodiert, als ob sich dasselbe in der Nähe befände[1]).

Die, wenn auch sehr innige Verknüpfung von Akkommodation und Konvergenz, ist nun allerdings keine absolute. Schon der Emmetrope kann die beiden Funktionen bis zu einem gewissen Grade voneinander trennen. D. h. er kann etwas mehr und etwas weniger akkommodieren, ohne seine Konvergenz zu ändern, und umgekehrt, bei gleicher Akkommodation, seine Konvergenz etwas erhöhen oder vermindern. Die Grenzen, in welchen dies möglich ist, hat DONDERS mit dem Ausdrucke der »relativen Akkommodation, resp. Konvergenzbreite« bezeichnet.

Bei Ametropen kann sich das normale Verhältnis der Akkommodation zur Konvergenz, im Interesse des binokularen Deutlichsehens, ganz bedeutend modifizieren. Hypermetropen, deren Refraktionsdefekt, zum deutlichen Sehen, einen starken Aufwand von Akkommodation erfordert, lernen denselben, unbeschadet ihrer Konvergenz, aufbringen. Ein Hypermetrope von 2 D. kann auf $^1/_3$ m mit $3 + 2 = 5$ D. akkommodieren, während er nur um 3 Mw. konvergiert[2]).

Fehlt ihm aber das binokulare Sehen, oder ist eines seiner Augen so sehschwach, dass dessen Mitwirkung mit dem anderen nur einen geringen Wert hat, so kommt diese Dissociation der beiden Funktionen nicht zu stande. Sie wirken zusammen, wie es die Anlage der ihnen vorstehenden Centren mit sich bringt. Braucht der Hypermetrope z. B. 2 D. Akkommodation, um deutlich in die Ferne zu sehen, so macht er dabei auch eine Konvergenzbewegung von ungefähr 2 Mw. Dieselbe tritt allerdings, gerade wie bei dem obigen Versuche, wo wir einem Emmetropen ein Konkavglas vorsetzten, nur auf dem nicht fixierenden Auge zu Tage, weil das andere eben auf das beobachtete Objekt gerichtet bleibt. Der Überschuss an Konvergenz, der Strabismus convergens des abweichenden, sagen wir schielenden Auges, ist also auch hier wieder der Ausdruck, nicht eines monokularen pathologischen Prozesses, sondern des Innervationsüberschusses, den beide Augen in gleichem Maße erhalten[3]).

Deshalb ist es nicht ganz richtig, als Erklärung des Strabismus convergens, zu sagen: das nach innen schielende Auge erleichtere dem anderen die Akkommodation durch seine erhöhte Konvergenz. Überhaupt wäre es,

1) Wir bitten den geneigten Leser, nicht nur die Auseinandersetzung dieser Versuche zu verzeihen, sondern sogar dieselben nachzumachen. Sie sind zum Verständnisse der Ätiologie des Schielens sehr lehrreich.

2) Es ist denn auch durchaus ungereimt, DONDERS, der gerade das Relative der Konvergenzbreite nachgewiesen hat, vorzuwerfen, nach seiner Theorie müssten alle Hypermetropen nach innen, alle Myopen nach außen schielen.

3) Sehr geeignet, die Richtigkeit dieser Erklärung des konvergierenden Schielens darzuthun, sind auch die Fälle, wo Strabismus convergens bei Nichthyperopen unter dem Einflusse einer Akkommodationsparese eintritt.

bei dieser Form des Schielens, viel besser, nicht von einem Strabismus convergens des beispielsweise linken Auges zu sprechen, sondern zu sagen: Es besteht Strabismus convergens; das rechte Auge wird zum Fixieren benutzt.

In der That ist dieser sogenannte Strabismus concomitans ein binokulares, d. h. beiden Augen gemeinsames Leiden, wenn er auch, für einen inkompetenten Beobachter, nur ein Auge, oder wenigstens nur ein Auge auf einmal zu betreffen scheint.

Erschlaffen nun auch anfangs die der Konvergenz vorstehenden Muskeln wieder, sobald die Fixation aufhört, oder doch wenigstens in tiefer Narkose, so wird doch bald ihre spastische Kontraktion zur Kontraktur. Namentlich aber schwächen sich die, ihnen wenig mehr entgegenwirkenden Muskeln der Divergenz, die Externi. Schneller (80) und ich (97) haben, unabhängig voneinander, die daraus hervorgehende Beschränkung der temporalen Exkursionen beider Augen nachgewiesen. Ich habe außerdem die an Atrophie erinnernde Schwäche dieser Muskeln, bei deren auf beiden Augen vorgenommenen Vorlagerung, unzähligemal beobachtet. Doch haben wir diese Alterationen der Muskeln nie als die Ursache, sondern stets als die Folge des Schielens aufgefasst.

Ähnliche Verhältnisse wie beim Strabismus convergens, finden wir beim Strabismus divergens. Aus dem über den Zusammenhang von Konvergenz und Akkommodation Gesagten geht hervor, dass diese Form des Schielens bei hochgradigen Myopen besonders häufig sein muss: Von Unendlich bis auf den oft sehr nahen Fernpunkt, bedürfen sie keiner Akkommodation, und von da an bis zum Nahepunkt immer um so viele Dioptrien weniger als der Emmetrope, als der Grad ihrer Myopie beträgt. Also fällt bei ihnen der in der Akkommodation liegende Antrieb zur Konvergenz beinahe weg. Nichtsdestoweniger konvergieren sie richtig, aber nur so lange, als es das Binokularsehen erfordert. Verdeckt man z. B. einem solchen Myopen das eine Auge, während er einen nahen Gegenstand betrachtet, so sieht man dasselbe regelmäßig nach außen abweichen. Dies ist auch ganz natürlich: Die Deutlichkeit, mit welcher der Myope den Gegenstand sieht, ist, bei dieser Entfernung, unabhängig von seiner Akkommodation: und, da ihn, bei Ausfall des Binokularsehens, nichts zu einer bestimmten Richtung seiner Augen zwingt, so überlässt er dieselben der Richtung, welche ihm am bequemsten ist. Dies ist eben relative oder absolute Divergenz [1]).

---

1) A. Graefe (110, 118 u. 120) versichert, ein akkommodationsloses, vom binokularen Sehakte ausgeschlossenes Auge könne sich auch infolge eines »Konvergenzgefühles« auf einen vom unverdeckten Auge fixierten, in unbekannter Entfernung liegenden Punkt einstellen. Ich glaubte, den Irrtum dieser Meinung seiner Zeit (117 u. 119) mehr als genügend dargethan zu haben, finde sie aber, zu

Diesen ganz normalen Vorgang hört man wohl auch heutzutage noch als Insufficienz der Interni, oder latenten Strabismus divergens bezeichnen. Früher tenotomisierte man zu deren Heilung sogar die Externi, und schuf dadurch eine Art paralytischen Konvergenzschielens mit gleichnamiger Diplopie. Vor nicht langer Zeit haben wir sogar sagen hören und gedruckt gelesen, man heile diese Insufficienz, diesen Strabismus latens, mit korrigierenden Konkavgläsern. Dass unter denselben die Divergenz aufhört, wundert uns aber nicht: Die Konkavgläser machen den Myopen zum Emmetropen. Als solcher braucht er, zum Sehen in die Nähe, seine Akkommodation und macht, auch bei verdecktem einen Auge, die der Akkommodation entsprechende Konvergenzbewegung. Eine Heilung ist das aber ebensowenig als die Divergenz der Myopen, die nur bei Ausschluss eines Auges eintritt, eine Krankheit ist.

Zu wirklichem Strabismus wird die Divergenz erst, wenn das binokulare Sehen fehlt. Dies tritt nicht selten bei höchstgradiger Myopie ein, und zwar deshalb, weil, trotz gleichwertiger Sehschärfe beider Augen, das binokulare Sehen ohne Korrektionsgläser eine sehr ermüdende Konvergenzanstrengung erfordert. In der That, soll die Konvergenz für einen gegebenen Punkt eine Zeitlang fortgesetzt werden, so ist, wie wir gesehen haben, der dazu erforderte Kraftaufwand nicht einfach umgekehrt proportional der Entfernung des Objektes, sondern es kommt dazu noch die ganz bedeutende Kraftquote, welche zur Unterhaltung der geforderten Arbeit in Reserve bleiben muss (S. 679).

Aber auch Nichtmyopen fallen dem Strabismus divergens leicht anheim, wenn ihnen das Binokularsehen fehlt. Ohne dasselbe hat die Konvergenz keinen Zweck für sie. Sie ist nur eine Anstrengung, welche sie nie zu machen lernen oder leicht wieder aufgeben, wenn dieselbe nicht mit der

---

meinem aufrichtigen Bedauern, auch in diesem Werke wieder angeführt Bd. VIII, Kap. XI, S. 155).

Wird einem akkommodationslosen Menschen, bei Verschluss des einen Auges, im absolut dunkeln Raume ein leuchtender Punkt dargeboten, so richtet er sein freies Auge nach demselben. Da ihm aber das binokulare Sehen, Akkommodation und Parallaxe fehlen, so hat er von der Entfernung des Punktes keinen Begriff. Er weiß nur, dass derselbe irgendwo auf seiner Gesichtslinie liegt. Deshalb überlässt er die gegenseitige Richtung seiner Augen entweder der Bequemlichkeit, oder der Vorstellung, die er sich von der Entfernung des Punktes macht. Letzteres wird besonders dann der Fall sein, wenn man diese Versuche am hellen Tage vornimmt und als Fixierpunkt den vorgehaltenen Finger benutzt. Dann wird man sich nicht wundern, wenn auch das verdeckte Auge eines Myopen manchmal nicht divergiert oder sich dem anderen Auge parallel stellt, sondern nach innen richtet, weil die Entfernung des Fixierobjektes ungefähr bekannt ist. Aber diese Richtung, die übrigens durchaus keine sichere ist, hängt eben von nichts anderem ab, als von der Kenntnis der Lage des Objektes. So sei denn wiederum bemerkt, dass zum Konvergieren schlechterdings zwei Augen gehören, dass ein Auge allein nicht konvergiert, also auch kein Konvergenzgefühl haben kann.

Akkommodation vergesellschaftet ist. Solche Patienten überlassen dann ihre Augen der gegenseitigen Richtung, die ihnen am wenigsten Mühe kostet. Dies ist, wie wir gesehen haben, in der Mehrzahl der Fälle, die Divergenz. Wir machen diese Beobachtung sozusagen alltäglich bei Emmetropen, ja selbst bei Hypermetropen, von einem Alter, in dem die Akkommodation nicht mehr sehr bedeutend ist. Verlieren sie die Sehkraft eines Auges, so stellt sich sehr rasch Strabismus divergens ein.

Man pflegt dann wohl zu sagen: Das kranke Auge, zum Sehen untüchtig, zum binokularen Sehakte unnütz, gehe seinen eigenen Weg und weiche nach außen ab. Diese Anschauungsweise, wenn auch der Wirklichkeit scheinbar entsprechend, ist jedoch nicht ganz richtig. Man sollte, ähnlich wie beim Strabismus convergens, sagen: Das Individuum, des binokularen Sehens beraubt, hört auf zu konvergieren; lässt seine Augen divergieren. Da aber notwendigerweise das eine Auge normal, d. h. auf das Fixationsobjekt gerichtet sein muss, so tritt die Divergenz nur auf dem anderen Auge zu Tage, aber da in doppeltem Grade.

So ist denn auch das sogenannte konkomittierende Auswärtsschielen, gerade wie das Einwärtsschielen, ein binokulares Leiden. Wie beim konvergierenden, so schwächen sich auch beim divergierenden Schielen, die dem Strabismus entgegenwirkenden Muskeln, hier die Interni, wegen mangelnder Übung. Denn, wenn auch bei der Rechtswendung der linke, bei der Linkswendung der rechte Internus in Thätigkeit tritt, so machen doch die lateralen Bewegungen der Augen einen viel geringeren Anspruch an die Thätigkeit dieser Muskeln, als die Konvergenz. Nach unseren Untersuchungen (150, S. 90) tritt schon bei 4° und weniger seitlicher Lage des Fixierobjektes, eine Drehung des Kopfes an die Stelle weiterer Drehung der Augen. Die Schwäche der Interni bei Strabismus divergens findet auch in der Beschränkung der nasalen Exkursionen beider Augen ihren Ausdruck. Aber, wie beim Strabismus convergens, so ist auch beim divergens diese Alteration der Muskeln eine sekundäre Erscheinung, und nicht etwa die Ursache des Schielens. Namentlich hat sie, in keinem Falle, etwas gemein mit der von den Anhängern der Muskeltheorie für das Schielauge angenommenen, aber nie beobachteten Verkürzung, Verlängerung, oder falschen Insertion eines Muskels.

Die in kurzen Zügen angeführte Erklärung des konkomittierenden Schielens entspricht der Theorie, die Donders schon vor mehr als einem halben Jahrhundert aufgestellt hat und welche durch die seither beobachteten Thatsachen völlig bestätigt worden ist. Die im Verlaufe des Schielens sich entwickelnden Veränderungen der Augenmuskeln, die Beschränkung der Exkursionen beider Augen, nach außen bei Strabismus convergens, nach innen bei Strabismus divergens, der günstige Einfluss der dem Akkommodationskrampfe entgegenwirkenden Mittel (Mydriatica, Konvexgläser) im ersten

Falle, der Wiederherstellung des binokularen Sehens in beiden Formen des Schielens, alles beweist die Richtigkeit der DONDERS'schen Theorie. Merkwürdig ist nur, dass dieselbe auch heute noch von so manchem gar nicht, oder nicht vollkommen verstanden wird. Wir sehen ab von denen, die noch in Muskelanomalien die Ursache dieser Form des Schielens suchen. Erstaunen aber müssen wir über die, welche, dieser Muskeltheorie eine Nerventheorie entgegenstellend, den Strabismus einer Alteration der Centren der Konvergenz oder Divergenz zuschreibend, etwas Neues gefunden zu haben wähnen, ohne einzusehen, dass DONDERS schon nicht nur die Ätiologie des Strabismus den lokalen Ursachen enthoben, der Akkommodation, der Konvergenz, und Divergenz zugeschrieben hat, sondern, was die Hauptsache ist, und was die neuesten Theoretiker eben unterlassen haben, auch gleich die Ursache der Alteration der beiden Funktionen angegeben hat. Hat DONDERS das Wort »Innervation« nicht direkt ausgesprochen, so geschah es offenbar deshalb, weil es sich von selbst versteht, dass Konvergenz wie Akkommodation unter dem Einflusse eines nervösen Impulses stehen.

Kommt nun aber auch, in der weitaus größten Zahl von Fällen, der Strabismus überhaupt, und der nicht paralytische Strabismus im speziellen, auf Rechnung der eben angegebenen Ursachen, so kommt es doch, wenn auch selten, vor, dass derselbe direkt von der Läsion eines der den verschiedenen Muskelassociationen, wie Konvergenz, Divergenz, Seitwärtswendung, Hebung oder Senkung des Blickes, vorstehenden Centren hervorgerufen wird. So findet man Parese, ja Paralyse der Konvergenz, welche Insufficienz dieser Funktion oder Strabismus divergens herbeizuführen im stande ist. Umgekehrt kann auch, unabhängig von der Akkommodation, ein Spasmus der Konvergenz, ein Strabismus convergens spasticus entstehen.

Wie die symmetrischen, so können auch die associierten, lateralen, wie vertikalen Augenbewegungen von ihren Centren aus krankhaft affiziert sein. Die ersteren hat LANDOUZY unter dem Namen der Déviations conjuguées beschrieben, von den letzteren mehren sich die Beobachtungen, seitdem Neurologen und Augenärzte darauf aufmerksam geworden sind.

Da in diesen Fällen beide Augen gleichzeitig nach links oder rechts, nach oben oder unten abweichen, resp. die Exkursion derselben in der entgegengesetzten Richtung für beide Augen gleichmäßig beschränkt ist, so ist es möglich, dass dieselben, trotz der schweren Störung ihrer Beweglichkeit, doch gleichzeitig auf den Fixierpunkt gerichtet sind. Diese Form der Motilitätsstörung würde also der Definition des Schielens nicht genau entsprechen. Sie gehört jedoch ihrer Natur nach nichtsdestoweniger dazu, und zwar in die dritte der von uns aufgestellten Gruppen, zu dem Strabismus, der hervorgerufen wird durch Alteration der den associierten Bewegungen vorstehenden Centren. Man dürfte diese Form des Schielens vielleicht mit dem Namen des centralen bezeichnen.

Bestimmung des Vorhandenseins des Schielens.

§ 234. Da das Schielen in der fehlerhaften Richtung der Gesichtslinie eines der beiden Augen besteht, die Gesichtslinien aber nicht sichtbar, ja selbst der Punkt des Auges, durch welchen sie geht, unbekannt ist, so ist es nicht immer leicht, das Vorhandensein von Schielen zu konstatieren. Man muss sich in der That sehr hüten, eine ungewohnte gegenseitige Stellung der Augen mit fehlerhafter gegenseitiger Richtung zu verwechseln. Dies kann namentlich bei Abweichungen in der Vertikalen vorkommen. Höhendifferenzen zwischen beiden Augen sind, wie man sich leicht überzeugen kann, außerordentlich häufig. Sie können sogar ganz bedeutend sein, bis 5 mm und mehr erreichen. Da dieselben jedoch zu keinerlei Beschwerden Veranlassung geben, so bleiben sie gewöhnlich unbeachtet. Tritt aber in einem solchen Falle einmal vertikales Doppeltsehen auf, so ist man leicht geneigt, eine solche Niveaudifferenz für eine Höhenablenkung zu halten, und ist dann ganz erstaunt, wenn das Bild des höher stehenden Auges als über dem des anderen befindlich angegeben wird. In der That kann ein Auge höher stehen und doch auf einen tieferen Punkt als das andere gerichtet sein.

Besteht kein Doppeltsehen und sind beide Augen sehtüchtig, so lässt sich das Vorhandensein von Schielen in folgender Weise feststellen: Man lässt den zu Untersuchenden einen Punkt fixieren, und bedeckt dann rasch das eine, darnach das andere Auge. Macht ein Auge in dem Moment, wo das andere bedeckt wird, eine Drehung nach dem Fixierpunkte hin, so ist dies ein Beweis, dass es beim Offenstehen des anderen Auges nicht darauf gerichtet war, also schielte. Der Sinn der Einrichtungsdrehung, oder Einstellungsbewegung, giebt dann die Richtung des Schielens an. Er ist derselben offenbar entgegengesetzt. Die Untersuchung muss, um ein sicheres Resultat zu geben, für die Ferne, für die Nähe, bei seitlichem, erhobenem und gesenktem Blicke vorgenommen werden.

Man beachte, dass wir auf Schielen schließen, wenn beim Bedecken des einen Auges eine Drehung des anderen stattfindet, nicht aber, wenn, beim Abdecken eines Auges, dasselbe eine Einrichtungsbewegung ausführt. Die letztere Erscheinung, mit welcher man häufig Schielen diagnostizieren hört, beweist an und für sich durchaus noch nicht, dass Schielen auch wirklich vorhanden ist. Pathologisch ist die Abweichung eines Auges nur dann, wenn sie eintritt, wenn beide Augen offen sind, und ihnen zur gleichzeitigen Fixierung des beobachteten Punktes kein Hindernis im Wege steht.

Tritt Schielen bei vollkommenem Binokularsehen auf, so ist dasselbe sehr leicht zu erkennen, indem dann jede fehlerhafte Richtung eines Auges zu ganz charakteristischem Doppeltsehen Veranlassung giebt. Um dem Untersuchten die Wahrnehmung der Bilder, und dem Untersucher die

Deutung derselben zu erleichtern, wählt man als Objekt einen leuchtenden Punkt, und bedeckt das eine Auge des Patienten mit einem farbigen (roten) Glase.

Ist das Vorhandensein von Schielen festgestellt, so fragen wir uns nach dessen Ursache, und zwar in erster Linie, ob wir es mit paralytischem oder nicht paralytischem Schielen zu thun haben. Zur Differentialdiagnose zwischen paralytischem und nicht paralytischem Schielen dienen folgende Merkmale:

1. Das Blickfeld.

Bei paralytischem Schielen zeigt das Blickfeld des kranken Auges eine dem oder den gelähmten Muskeln entsprechende Einschränkung, während das des gesunden Auges normal ist.

Bei frischem nicht paralytischem Schielen sind die Blickfelder beider Augen noch frei; bei länger bestehendem sind sie symmetrisch eingeschränkt (80 u. 97).

2. Die Haltung des Kopfes.

Während das nicht paralytische Schielen die Stellung des Kopfes gewöhnlich nicht beeinflusst, tritt bei der Lähmung eines Augenmuskels meist eine ganz charakteristische Kopfhaltung ein. Dieselbe beruht darauf, dass der Patient die ausgefallene Drehung seines Auges durch eine Drehung des Kopfes ersetzt.

Ist z. B. Fig. 255 A der linke Externus gelähmt, das Auge *L* nach *X*, statt, wie das rechte *R*, nach *O* gerichtet, so wendet der Patient seinen Kopf in die Stellung Fig. 255 B, bis er im stande ist, mit beiden Augen gleichzeitig den Punkt *O* zu fixieren (170b).

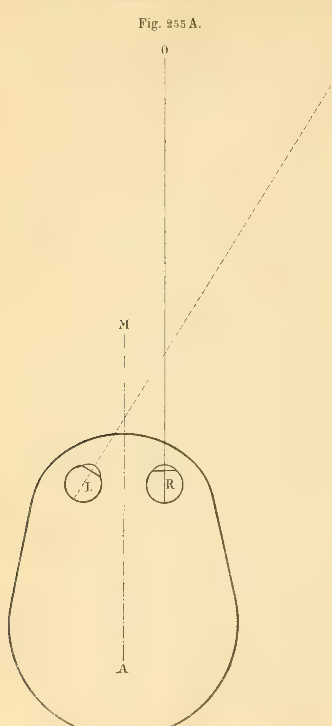
Handelt es sich also um Ausgleichung einer durch Parese hervorgerufenen falschen Richtung eines Auges, so können wir sagen: der Patient wendet sein Gesicht im Sinne des gelähmten Muskels: Gesicht nach links deutet auf Lähmung eines Linkswenders (linker Externus, rechter Internus), Gesicht nach rechts auf Lähmung eines Rechtswenders (rechter Externus, linker Internus), Gesicht nach unten auf Lähmung eines Senkers (Rectus inferior oder Obliquus superior), Gesicht nach oben auf Lähmung eines Hebers (Rectus superior, Obliquus inferior).

In ähnlicher Weise wird die pathologische Schiefstellung, Drehung eines Auges um die sagittale Achse, kurz Rollung, durch eine Neigung des Kopfes ausgeglichen.

Trägt der Patient den Kopf nach der linken Schulter geneigt, so kann man auf die Lähmung eines Linksrollers schließen (linker Rectus oder Obliquus inferior; rechter Rectus oder Obliquus superior). — Rechts-

neigung des Kopfes bedeutet Lähmung eines Rechtsrollers (rechter Rectus oder Obliquus inferior; linker Rectus oder Obliquus superior).

Fig. 255 A.



Die beiden in der Vertikalen wirkenden Recti (superior und inferior) sind allerdings auch leichte Einwärtswender. Nichtsdestoweniger wird das Gesicht bei deren Lähmung der Seite des kranken Auges zugewendet, weil dadurch die am meisten störende vertikale Diplopie verringert wird. — Aus demselben Grunde wendet der Patient, bei Lähmung eines der Obliqui, obschon dieselben leichte Auswärtswender sind, sein Gesicht nach der Seite des gesunden Auges.

Die dadurch herbeigeführte Zunahme der Schiefstellung des Doppelbildes kann durch die Seitwärtsneigung des Kopfes nach der gesunden Seite bei Lähmung des oberen Rectus oder Obliquus, nach der kranken Seite bei Lähmung des unteren Rectus oder Obliquus ausgeglichen werden (58, 151, 163, 172).

3. Die Projektion.

Der gleich zu besprechende Projektionsversuch ergiebt, dass beim paralytischen Schielen das eine (gewöhnlich das von Parese

betroffene) Auge falsch, das andere das fixierte Objekt richtig lokalisiert.

Bei nicht paralytischem Schielen dagegen ist die Lokalisation gewöhnlich für jedes Auge richtig.

Fig. 253 B.

4. Die Übertragung des Schielens von einem Auge auf das andere.

Bedeckt man einem Schielenden abwechselnd das eine und das andere Auge, so bemerkt man, dass die Ablenkung, welche auf dem vom Sehen ausgeschlossenen Auge zu Tage tritt, bei Strabismus paralyticus bedeutender ist auf dem gesunden Auge, während das paralytische fixiert, als auf dem paralytischen Auge, wenn das gesunde fixiert. Man pflegt den auf das gesunde Auge übertragenen Strabismus paralyticus mit dem Ausdrucke der »sekundären Ablenkung« zu bezeichnen.

Bei nicht paralytischem Strabismus bleibt der Schielwinkel der gleiche, welches Auge auch zum Fixieren benutzt werde.

5. Das Doppeltsehen.

Das Doppeltsehen bildet das wichtigste Symptom nicht nur zur Differentialdiagnose zwischen paralytischem und nicht paralytischem Schielen, sondern im ersten Falle auch zur Erkennung des gelähmten Muskels.

Man hört gewöhnlich sagen, das paralytische Schielen unterscheide sich

von dem nicht paralytischen dadurch, dass bei dem ersteren Doppeltsehen bestehe, während solches beim letzteren fehle. — Dies ist nun durchaus nicht ganz richtig. Einmal tritt die Diplopie bei Strabismus paralyticus nur dann auf, wenn vorher Binokularsehen vorhanden war, sodann gelingt es manchmal auch bei nicht paralytischem Schielen, Doppeltsehen hervorzurufen. Was aber das letztere Doppeltsehen von dem bei Muskelparalyse auftretenden durchaus unterscheidet, das ist die Sicherheit, mit welcher bei letzterem die Doppelbilder projiziert resp. lokalisiert werden. Die Entfernung zwischen den Bildern der beiden Augen entspricht beim paralytischen Schielen immer dem Grade der Ablenkung. Beim nicht paralytischen wird es dem Patienten sehr schwer, wenn er überhaupt Doppelbilder wahrnimmt, die gegenseitige Entfernung derselben anzugeben. Häufig lokalisiert er dieselben ganz richtig, als ob er die beiden Augen abwechselnd zum Fixieren benutzte.

Die Verwertung des Doppeltsehens zur Diagnose des gelähmten Muskels.

§ 235. Nichts ist leichter, als die der Lähmung eines Augenmuskels entsprechende Diplopie abzuleiten. Bedenken wir, dass bei der Lähmung eines Muskels das Auge die zur Wirkungsweise desselben gerade umgekehrte Richtung und Stellung einnimmt, und dass das von dem gelähmten Auge erhaltene Netzhautbild wieder in dem seiner Richtung und Stellung gerade umgekehrten Sinne nach außen projiziert wird, so folgt daraus, dass wir uns einfach die normale Wirkungsweise eines Muskels zu vergegenwärtigen brauchen, um die bei dessen Lähmung entstehende Diplopie zu kennen. So dreht z. B. der Obliquus superior das Auge stark nach unten, ein wenig nach außen schläfenwärts, und neigt das obere Ende des vertikalen Meridians der Medianlinie zu. Bei Paralyse dieses Muskels steht also das dem kranken Auge entsprechende Bild, in Bezug zu dem des gesunden Auges unten, außen, d. h. schläfenwärts (homonyme Diplopie), und neigt mit seinem oberen Ende medialwärts.

Dies einfache Gesetz, das einem Examinanden ausgezeichnete Dienste zu leisten vermag, ist nun allerdings in der Praxis nicht so direkt verwendbar. Da fragt man uns nicht nach den Symptomen einer gegebenen Lähmung, sondern man giebt uns umgekehrt Symptome, aus denen wir die entsprechende Lähmung ableiten sollen.

Aber auch dies ist oft anscheinend sehr schwer zu lösen, wenn man methodisch zu Werke geht: Erst bestimmt man, welches Auge von der Lähmung betroffen ist, sodann welches der gelähmte Muskel ist.

Dazu dienen nun am einfachsten folgende zwei Gesetze (163 und 170a):

I. Das kranke Auge erkennt man daran, dass in der Richtung seines Bildes die Diplopie zunimmt[1].

II. Gelähmt ist der Muskel, welcher dem Auge die Lage und Richtung des demselben entsprechenden Bildes geben würde.

Wie man sieht, ist es zu dieser Diagnose notwendig, die Richtung der Augen zu ändern. Um dies zu bewerkstelligen, empfiehlt es sich, nicht etwa das Fixierobjekt (eine angesteckte Kerze) in verschiedenen Richtungen zu führen, sondern dasselbe unverändert an der Wand — im Nullpunkte unserer Tangenteneinteilung (S. 659) — zu lassen, und dem Kopfe des Patienten, mit der aufgelegten Hand, die Stellung zu geben, welche zur Fixierung des Objektes die gewünschte Richtung der Augen mit sich bringt. — Wandern wir nämlich, mit dem Lichte in der Hand, nach links und rechts, steigen auf einen Stuhl, um den Patienten nach oben, kauern auf den Boden, um ihn nach unten sehen zu lassen, so dreht er, trotz unserer Ermahnung, weniger die Augen als den Kopf dem Lichte zu, und macht also unsere Untersuchung illusorisch. Aber selbst wenn man den Kopf von einem Gehilfen festhalten lässt, so kann diese Methode zu sehr störenden Erscheinungen Veranlassung geben:

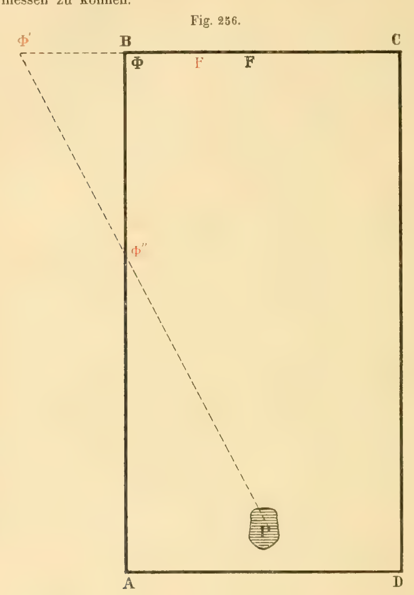
Es sei z. B. $ABCD$ (Fig. 256) der Durchschnitt unseres Konsultationsraumes; P der Kopf des Patienten, F die Lichtflamme. — Nehmen wir an, es handle sich um Paralyse des linken Externus, so wird der Patient mit dem rechten Auge die Flamme in F, mit dem linken z. B. in F'' sehen. Bringen wir nun, bei unbewegtem Kopfe des Patienten, die Flamme nach Φ, so nimmt der gegenseitige Abstand der Doppelbilder zu. Der Patient sollte also eine Flamme in Φ, die andere in Φ', jenseits der Wand AB des Zimmers, sehen. Die letztere wird allerdings auch doppelt gesehen, doch wird ihr Bild gewöhnlich nicht so lebhaft wahrgenommen, wie das der Lichtflamme. So kann es denn vorkommen, dass der Patient das Bild des linken Auges auf die vom rechten Auge gesehene Wand projiziert, statt in Φ', in Φ'' sieht, d. h. für näher hält. Dies kommt namentlich vor, wenn das Bild des kranken Auges das tiefere ist. Wir brauchen zur Veranschaulichung dieses Falles nur die Figur um 90° nach links zu drehen. Dann wird AB zum Fußboden, auf welchem das Bild Φ'' sich dem Patienten zu nähern scheint, während er es in der Richtung von Φ' in den Boden sollte versinken sehen. Aus dieser Projektion auf Wand, Boden, oder Decke des Konsultationsraumes, können die Diagnose störende Missverständnisse hervorgehen. Wir vermeiden sie dadurch, dass wir das Fixierobjekt unbewegt lassen. Dabei erfolgt die Projektion der

[1] Man kann auch sagen: Bei Bewegung des Objektes eilt das Bild des kranken Auges dem des gesunden voraus.

Doppelbilder immer auf derselben Ebene, die vor dem Patienten stehende Wand[1]).

Damit gewinnen wir zugleich auch den sehr großen Vorteil, den G r a d des Schielens, mit unserer Tangententeilung, bei verschiedenen Blickrichtungen direkt messen zu können.

Fig. 256.



Nehmen wir nun an, wir haben des Patienten l i n k e s Auge mit einem roten Glase bedeckt und er gebe g l e i c h n a m i g e s Doppeltsehen an. Das Bild des l i n k e n Auges steht l i n k s, das des r e c h t e n r e c h t s. Wir richten des Patienten Blick nach l i n k s, indem wir seinen Kopf nach rechts drehen.

1) Fälle so hochgradigen vertikalen Schielens, dass eines der beiden Bilder, bei einer Entfernung von 225 cm (Radius unserer Tangententeilung), tiefer als der Fußboden zu liegen kommt, sind sehr selten.

Nimmt nun die gegenseitige Entfernung der Doppelbilder zu, so ist das linke Auge das kranke, denn beim Blicke in der Richtung seines Bildes hat die Diplopie zugenommen, und der Rectus externus ist der gelähmte Muskel, weil er das Auge in der Richtung des Bildes, d. h. nach links gewendet hätte.

Hätte bei dieser Drehung des Kopfes, resp. der Augen, die Diplopie abgenommen, so hätten wir schon daraus auf Parese des rechten Externus geschlossen, und unsere Diagnose dadurch sichergestellt, dass, bei entgegengesetzter Richtung, das Doppeltsehen zugenommen hätte.

Nehmen wir an, wir haben es mit gekreuztem Doppeltsehen zu thun: das Bild des linken Auges liegt auf der rechten, das des rechten auf der linken Seite. Gehen dann die Doppelbilder auseinander, d. h. nimmt die Diplopie zu, wenn der Blick nach links, d. h. dem Bilde des rechten Auges zugewendet wird, so ist das rechte das kranke Auge, und sein Internus der gelähmte Muskel, weil er diesem Auge die Richtung nach links gegeben hätte, u. s. f.

Betrachten wir nun den weniger einfachen Fall vertikaler Diplopie.

Es sei wieder das linke Auge mit einem roten Glase versehen und der Patient gebe an, das rote Bild sei das tiefere, das nicht gefärbte das höhere. — Lassen wir nun, durch Aufwärtswendung des Gesichtes, den Patienten nach unten sehen, und entfernen sich dann die Doppelbilder voneinander, so ist das linke Auge der Sitz der Lähmung; nähern sie sich einander beim Blick nach unten, so ist es das rechte Auge. In dem letzteren Falle würden sie sich voneinander entfernen, wenn wir, durch Abwärtswendung des Gesichtes, den Patienten zwingen würden, den Blick zu heben, d. h. nach dem (höherstehenden) Bilde des rechten Auges zu richten.

Doch bleiben wir beim ersten Falle, und nehmen an, bei Senkung des Blickes nehme die Diplopie zu, das Bild des linken Auges eile dem des rechten voraus. Dann ist das linke Auge das kranke, und gelähmt ist ein Senker.

Nun giebt es aber zwei Senker: der Rectus inferior und der Obliquus superior. Nach unserem Gesetze sollte die Differentialdiagnose zwischen beiden Fällen leicht sein. Steht das Bild des kranken Auges nicht nur tiefer, sondern auch auf der entgegengesetzten Seite (gekreuzte Diplopie), und ist es gar mit dem oberen Ende schläfenwärts geneigt, so ist der Rectus inferior gelähmt, weil er das Auge, außer nach unten, auch nach innen, d. h. der der kranken entgegengesetzten Seite wendet, und seinen vertikalen Meridian schläfenwärts neigt.

Steht dagegen das tiefere, dem kranken Auge angehörende Bild auf derselben Seite (homonyme Diplopie), und neigt nasenwärts, so schließen wir mit Recht auf Paralyse des Obliquus superior, denn dieser Muskel ist nicht nur Senker, sondern er dreht das Auge auch nach außen, und neigt den vertikalen Meridian nach innen, d. h. der Nase zu.

Die *seitliche Abweichung*, und noch mehr die *Schiefstellung* des Bildes, treten jedoch nur bei hochgradiger Ablenkung deutlich hervor, und sind dem Patienten unter gewöhnlichen Verhältnissen oft schwer zum Bewusstsein zu bringen.

Diese beiden Komponenten der Wirkung der Recti und Obliqui superiores und inferiores sind nämlich viel geringer als die Hebung oder Senkung. In meiner Synopsis der Augenbewegungen (163), wo die drei Komponenten richtig, und nicht wie gewöhnlich auf Geratewohl angegeben sind, musste ich schon eine Drehung des einen Auges von nicht weniger als 40° um die betreffende Achse voraussetzen, um dieselben anschaulich zu machen. Mit den gleich zu beschreibenden Ophthalmotropen werden diese Verhältnisse sofort klar.

Man kann sich allerdings die Diagnose einer pathologischen Rollung des Auges dadurch erleichtern, dass man statt einer Lichtflamme, die eben so kurz ist, dass eine eventuelle Schiefstellung kaum zu bemerken ist, zwei Flammen verwendet, von denen die eine *über*, die andere in gleicher Entfernung *unter* dem Fixierpunkte steht. Noch besser eignet sich dazu ein elektrischer Glühfaden, wie er in der Leipziger Klinik verwendet wird, der lang genug ist, dass dem Patienten die gegenseitige Neigung der Bilder seiner beiden Augen nicht leicht entgehen kann. Die Differentialdiagnose zwischen der Lähmung eines Rectus und eines Obliquus lässt sich aber auch ohne so günstige Fixierobjekte, rasch und sicher in folgender Weise machen: Man vergegenwärtigt sich einfach die Richtung dieser Muskeln, und erinnert sich daran, dass die Recti, der inferior wie der superior, vom Grunde der Orbita aus *schläfenwärts* streichen, während die Obliqui (die Trochlea des O. superior als Ausgangspunkt betrachtet) von der *Nase* aus rück- und auswärts gehen. Die durch einen Muskel hervorgerufene Senkung wie Hebung muss offenbar um so ausgesprochener werden, je mehr sich die Gesichtslinie der Richtung des Muskels nähert, für die *Recti* also beim Blicke nach der *Schläfe*. Eine durch die Lähmung eines *Rectus* hervorgerufene Beschränkung der Senkung oder Hebung wird also ebenfalls, bei *schläfenwärts* gerichtetem Blicke, um so fühlbarer. Je mehr sich dagegen das Auge in umgekehrter Richtung dreht, um so mehr tritt die *rollende* Wirkung dieses Muskels resp. die *Schiefstellung* des Doppelbildes zu Tage. Könnte sich das Auge senkrecht zur Muskelrichtung stellen, so würde gar keine Senkung resp. Hebung der Gesichtslinie mehr eintreten, sondern nur Rollung des Auges um dieselbe stattfinden. So würde also, in unserem Beispiele, eine zunehmende Schiefstellung des Bildes des linken Auges beim Blicke nach *rechts* eine Lähmung des *Rectus inferior* andeuten.

Für die *Obliqui* tritt das Umgekehrte ein. Hier nimmt die Senkung, resp. Hebung des Auges, also auch die Höhendifferenz der Doppelbilder zu

bei nasaler Drehung des kranken Auges, resp. beim Blicke nach der gesunden Seite. Bei temporaler Wendung des kranken Auges, resp. beim Blicke nach der kranken Seite, nimmt die Schiefstellung des Doppelbildes zu, die Höhendifferenz ab.

Kehren wir zu unserem obigen Beispiele, der Lähmung eines Senkers des linken Auges, zurück, und drehen den Kopf des Patienten um seine vertikale Achse, z. B. so, dass sein Gesicht nach links schaut, er sein linkes Auge also nasenwärts wenden muss, um das vor ihm stehende Licht zu sehen. Nimmt dann die Höhendifferenz zu, so ist der Obliquus superior gelähmt, nimmt sie ab, so ist es der Rectus inferior. Die Drehung des Kopfes im umgekehrten Sinne (Gesicht nach rechts, Blickrichtung nach links) bestätigt die Diagnose (107).

Hofmann und Bielschowsky haben die Kopfneigung zur Diagnose von Augenmuskellähmungen aus der Heber- und Senkergruppe in folgender Weise verwertet (172). Sie benutzen zu ihren Untersuchungen ein Zahnbrettchen, das in eine 20 cm lange Holzleiste ausläuft. Am Ende der Leiste, parallel zur Frontalebene des Untersuchten, befindet sich ein weißer Karton, und darauf, in der Höhe der Augen, ein vertikales Streifchen schwarzen Papieres.

Hat der Patient das Brettchen zwischen die Zähne gefasst, so lässt man ihn den Kopf nach der einen und der anderen Schulter neigen, und die dabei zu Tage tretende Lage des Trugbildes des schwarzen Streifens mit Bleistift auf dem Karton angeben.

Das Ophthalmotrop.

§ 236. Die Wirkungsweise der Augenmuskeln, sowie das bei deren Lähmung auftretende Doppeltsehen, lässt sich durch unser Ophthalmotrop (139) sehr klar veranschaulichen (Fig. 257).

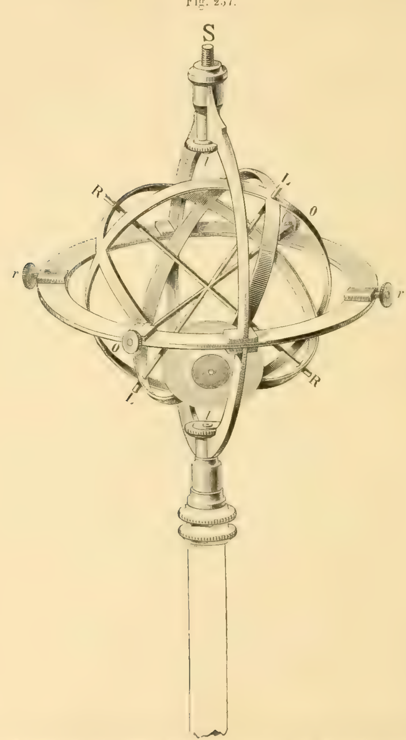
Ein aus drei Metallringen und einem, Cornea und Pupille darstellenden Scheibchen bestehendes, schematisches Auge wird mit den Drehungsachsen seiner Muskeln in zwei feststehende Ringe (einen vertikalen und einen horizontalen) so eingeführt, dass es sich nach Belieben um eine dieser drei Achsen drehen lässt.

Um beispielsweise die Wirkung der lateralen Recti zu veranschaulichen, fassen wir das Auge zwischen die der vertikalen Achse LL entsprechenden Schrauben (l und l).

Die Achsen der Recti superior und inferior (RR), sowie der Obliqui (OO) lassen sich in die entsprechenden, mit dem horizontalen Ringe verbundenen Schrauben rr und OO aufnehmen. Die dem gewünschten Muskel entsprechende Achse wird nun so festgeschraubt, dass sie sich gerade noch drehen lässt, während die anderen Gewinde losgeschraubt werden.

So zeigt z. B. Fig. 257 das rechte Auge unter dem Einflusse des Obliquus superior. Dank der feststehenden Ringe (des horizontalen und vertikalen) kann man sofort sehen, um wieviel das Auge sich gesenkt, nach außen

Fig. 257.



E. Landolt's Ophthalmotrop, den Einfluss des Obliquus superior auf das rechte Auge darstellend.

gewendet, und um die sagittale Achse gerollt, resp. wie und wie stark sich sein vertikaler Meridian geneigt hat.

Dreht man es um die gleiche Achse der Obliqui $(O\,O)$ nach oben, so tritt die Wirkung des Obliquus inferior zu Tage: Das Auge ist nach oben und ebenfalls nach außen gerichtet; die Neigung seines vertikalen Meridians ist nun aber der bei der Kontraktion des Obliquus superior zu Tage tretenden entgegengesetzt. Wünscht man die Experimente mit einem linken Auge vorzunehmen, so braucht man das Ophthalmotrop nur umgekehrt, mit S (Fig. 257), an den Fuß zu schrauben.

Betrachtet man dies schematische Auge von hinten, so findet man die Rückseite seines vertikalen Meridians rot bemalt. Diese rote Linie entspricht dem, bei Lähmung des eingestellten Muskels, auftretenden Doppelbilde. Dies folgt aus dem, was wir oben von der Projektion des Netzhautbildes des gelähmten Auges auseinandergesetzt haben. Sie entspricht genau der normalen Wirkungsweise des Muskels. — Während also Fig. 257 die Richtung des rechten Auges unter dem Einflusse des Obliquus superior darstellt, findet man, bei Betrachtung des Auges von der Rückseite, das dessen Lähmung entsprechende, sogenannte falsche, oder Doppelbild: dasselbe steht tiefer, temporalwärts, und neigt mit dem oberen Ende seines vertikalen Meridians nasalwärts.

Die Wirkung der verschiedenen Augenmuskeln lässt sich aber auch in noch einfacherer Weise demonstrieren (170 d).

Das einfachste Ophthalmotrop.

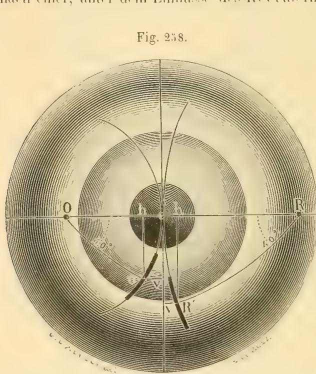
Wir nehmen eine Kugel, z. B. einen Kautschukball (Fig. 258), malen darauf die Pupille und ziehen, durch deren Mitte c, den vertikalen und den horizontalen Meridian. Auf letzterem bezeichnen wir außerdem, 39° vom vorderen Pole, in O, den Punkt, durch welchen die Drehungsachse der Obliqui geht, und auf der entgegengesetzten Seite, 63° vom vorderen Pole, in R, den Durchschnittspunkt der Drehungsachse des oberen und unteren Rectus. — Das vordere Ende der Achse der Obliqui liegt auf der Schläfen-, das der Recti auf der Nasenseite vom vorderen Pole; also stellt Fig. 258 das rechte Auge von vorn gesehen dar. Unter dem Einflusse der Obliqui würde der vordere Pol c des Auges offenbar eine bogenförmige Bahn um den Punkt O als Centrum durchlaufen. Setzen wir in O die eine, in c die andere Spitze eines Zirkels an, und tragen auf dem Ball, mit dem Radius $O\,c$, einen Bogen ab, so entspricht der über der Horizontalen gelegene Teil desselben der Wirkungsbahn des unteren, der unter der Horizontalen gelegene der Wirkungsbahn des oberen schiefen Augenmuskels.

Ziehen wir z. B. vom Punkte O aus die Linie (Radius) $O\,O'$, die mit dem horizontalen Meridiane einen Winkel von 40° bildet, so wissen wir,

dass, nach einer Drehung von 40° unter dem Einflusse des Obliquus superior, der Hornhautscheitel sich in dem Punkte O' befinden würde. Das von diesem Punkte auf die Horizontale errichtete Lot $O'h$ stellt dann die dabei erfolgte Höhenablenkung, das auf die vertikale gefällte Lot $O'v$ die Seitenablenkung, und die in O' an den Kreis gelegte Tangente die Neigung des vertikalen Meridianes dar.

Konstruieren wir in gleicher Weise, um R als Centrum, die Wirkungsbahn der vertikalen Recti, und tragen auf deren unterem Teile ebenfalls einen Winkel von 40° ab, so finden wir in R' den Ort des Hornhautscheitels nach einer, unter dem Einflusse des Rectus inferior erfolgten Drehung. Ziehen wir auch hier wieder die Lote $R'h$ und $R'v$, so können wir die drei Komponenten der Wirkung des Obliquus superior, und des Rectus inferior in der anschaulichsten Weise miteinander vergleichen.

Fig. 258.



E. Landolt's einfachstes Ophthalmotrop, das rechte Auge darstellend.

Wie aus Fig. 258 hervorgeht, ist, gleiche Drehung vorausgesetzt, für den Obliquus die Senkung geringer, die Seitenwendung, Schiefstellung des Auges aber bedeutender, als für den Rectus. Außerdem finden letztere Wirkungen für die beiden Muskeln in entgegengesetztem Sinne statt: Beim Obliquus: Abduktion, beim Rectus: Adduktion; beim Obliquus: Neigung des vertikalen Meridians nach der Nase, beim Rectus: Neigung des vertikalen Meridians nach der Schläfe.

Ganz dasselbe würden wir über der Horizontalen, für den Obliquus inferior und den Rectus superior finden.

Drehen wir die Figur um, so stellt sie das linke Auge von vorn gesehen dar, und die Konstruktion entspricht den beiden Hebern: Obliquus inferior und Rectus superior.

Die Figur giebt uns aber noch mehr, als die Wirkungsweise der vier Muskeln: Sie stellt aus dem oben angeführten Grunde auch gleich die der Lähmung derselben entsprechenden Doppelbilder dar. So entnehmen wir

aus dem durch O' gehenden dicken Striche die Lage und Richtung des Bildes bei Paralyse des Obliquus superior (unten, außen, nasal geneigt); aus dem durch R' gehenden diejenigen des Bildes bei Paralyse des Rectus inferior (unten, innen, temporal geneigt).

Wir verstehen auch aus der Konstruktion dieser Bilder, warum von Parese der Senker oder Heber Befallene die theoretisch erwartete seitliche Lage, und namentlich die Schiefstellung des Doppelbildes, nicht immer anzugeben wissen. Um diese beiden Komponenten der Muskelwirkung deutlich zu machen, haben wir eine Drehung von 40° angenommen. Paresen aber haben selten mehr als 10° Höhendifferenz zur Folge; häufig genug beträgt dieselbe nur ungefähr 5°. — Wir brauchen uns die Punkte O' und R' der Figur nur entsprechend weit nach oben verlegt zu denken, um einzusehen, wie nahe sie dann der Vertikalen zu liegen kommen, wie schwer es dem Patienten wird, zu entscheiden, ob ein solches Bild genau unter dem des gesunden Auges, rechts oder links davon liegt. — Noch schwieriger muss es ihm bei geringgradiger Parese fallen, die Schiefheit des Bildes wahrzunehmen. Einmal wird, wie aus der Figur erhellt, diese schiefe Richtung dabei an sich schon sehr gering, und außerdem müsste das Objekt, um dieselbe auffälliger zu machen, eben nicht nur in einer relativ kurzen Lichtflamme, sondern in einer längeren Lichtlinie bestehen.

Da, wie oben auseinandergesetzt, das Auge, bei Lähmung eines Muskels, die Richtung und Neigung annimmt, welche denen, die ihm der Muskel normalerweise giebt, gerade entgegengesetzt sind, so lässt sich diese abnorme Stellung mit unseren Ophthalmotropen leicht bestimmen. So entnehmen wir den Figuren 257 und 258, dass, bei Lähmung des Obliquus superior, das Auge, gerade umgekehrt, nach oben und nach innen abgelenkt, und sein vertikaler Meridian nach außen geneigt sein muss, während es, bei Paralyse des Rectus inferior (Fig. 258), nach oben und außen geht, und nach innen neigt[1]).

Auch die die Paralyse begleitende Kopfhaltung geht aus den Ophthalmotropen direkt hervor, wenigstens was Hebung, Senkung und Neigung betrifft. Sie entspricht z. B. den auf der Kugel (Fig. 258) bezeichneten Strichen: Für Lähmung des Obliquus superior wie des Rectus inferior, Wendung des Kopfes nach unten; für den ersteren, Neigung nach der gesunden, für den letzteren, Neigung nach der kranken Seite.

1) Der Schluss, den Herr Maddox (161b, S. 94 und 186, S. 50), aus den Experimenten mit unseren Ophthalmotropen zieht, ist denn auch ganz unrichtig: Drehen auch die Schiefen, wie die oberen und unteren Geraden, das Auge, in umgekehrtem Sinne, um eine jedem Paare gemeinsame Achse, so sind doch die einem Paare angehörenden Muskeln bekanntlich keine eigentlichen Antagonisten. Als solche sind zu betrachten die Kräfte alle, welche auf das Auge die dem Muskel in jeder Hinsicht umgekehrte Wirkung ausüben.

Die Messung des Schielwinkels.

§ 237. Ist die Natur des Schielens festgestellt, und, im Falle von paralytischem Schielen, der befallene Muskel oder die Gruppe von Muskeln diagnostiziert, so geht man zur Bestimmung des Grades des Schielens über.

Wie wir oben auseinandergesetzt haben, stehen die Augen normal, wenn die Gesichtslinien beider gleichzeitig auf den Punkt gerichtet sind, dem das Individuum seine Aufmerksamkeit zuwendet. Weicht ein Auge von dieser Richtung ab, so schielt es. Der Grad des Schielens findet selbstverständlich seinen Ausdruck in dem Winkel, um welchen die Gesichtslinie des schielenden Auges von der Richtung abweicht, die sie haben sollte. Der Schielgrad muss also in Winkelgraden ausgedrückt werden.

Der Schielwinkel ändert sich, namentlich beim paralytischen Schielen, mit der Lage und Entfernung des Fixierobjektes. Wenn wir kurzweg von Schielwinkel sprechen, so meinen wir die Ablenkung, welche ein Auge eingeht, wenn das andere einen, in unendlicher Entfernung, auf gleicher Höhe mit ihm, und auf einer zur Antlitzfläche senkrechten Linie liegenden Punkt fixiert.

Der Schielwinkel lässt sich einmal direkt messen, sodann aber auch aus dem durch das Schielen hervorgerufenen Doppeltsehen, und dem dasselbe korrigierenden Prisma ableiten.

Wir haben somit in allen Fällen eine Methode, bei dem von Doppeltsehen begleiteten paralytischen Schielen sogar drei, sich gegenseitig kontrollierende Methoden zur Bestimmung des Schielwinkels.

Es ist befremdend, dass man selbst heutzutage noch Drehungen der Augen, d. h. Winkel, in linearem Maße, und Niveaudifferenzen, d. h. lineare Werte, in Winkeln auszudrücken versucht (A. Graefe II. VIII. CXI. S. 95 und S. 104). Als Ausgangspunkt seiner linearen Strabometrie wählt A. Graefe die unkonstante, und zwischen den beiden Augen kaum vergleichbare Lidkommissur. Es ist denn auch diese Art der Messung nicht nur unlogisch, sondern auch ungenau. Selbst wenn man die an der Oberfläche des Auges abgelesenen Teilstriche als Tangenten des Schielwinkels betrachten, und daraus den Grad desselben ableiten wollte, so wäre doch das Resultat dieser Messung gerade um so viel ungenauer, als das unserer Messung, als der dabei in Frage kommende Radius (Entfernung der Oberfläche des Auges vom Drehpunkte, ungefähr 14 mm) kleiner ist als der unsrige: der Radius des Perimeters (300 mm), oder die Entfernung des Patienten von unserer Tangententeilung (2250 mm). Nichtsdestoweniger sind wir leider weit entfernt, den uns von A. Graefe gemachten Vorwurf übergroßer Genauigkeit zu verdienen. Auch unsere

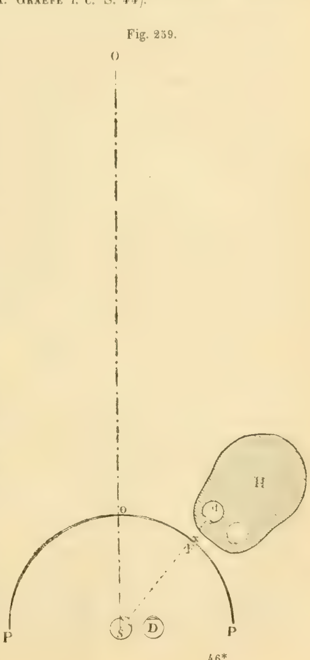
Methoden zur Bestimmung des Schielwinkels lassen in dieser Beziehung noch viel zu wünschen übrig. Doch haben sie wenigstens den Vorzug, logisch zu sein, alle auf den gleichen Ausdruck hinauszulaufen, und ein einheitliches, überall verständliches Resultat zu geben.

So würden wir z. B., wie wir gleich sehen werden, auf drei verschiedene Weisen, einen Strabismus von 5° konstatieren, während, nach der alten Ausdrucksweise, der gleiche Grad nach folgenden vier Arten zu bezeichnen wäre: Korrigierendes Prisma Nummer 10, Distanz der Doppelbilder mit Beziehung auf ein 1 m entferntes Objekt 16 cm, ausgleichender Drehungswinkel 5°, Ablenkung 1 mm (A. Graefe l. c. S. 44).

Objektive Methoden zur Messung des Schielwinkels.

Die einfachste Methode, den Schielwinkel mit für die Praxis genügender Genauigkeit zu bestimmen, ist folgende: Wir bringen das abgewichene Auge S (Fig. 259) in das Centrum eines Perimeters, und dessen Bogen PoP in die Schielebene, d. h. wir richten ihn horizontal, wenn das Auge in der horizontalen, vertikal, wenn es in der vertikalen, schief, wenn es in einer schiefen Richtung abgewichen ist; es sei denn, dass man in letzterem Falle den Strabismus in eine horizontale und eine vertikale Komponente zerlege. Nehmen wir den häufigsten Fall, den einer Abweichung in der Horizontalebene (Strabismus convergens oder divergens). Der Bogen des Perimeters wird horizontal gestellt. Wir lassen nun den Patienten einen möglichst weit entfernten Punkt O fixieren, der auf der Verlängerung des durch den

Fig. 259.



Null- resp. Scheitelpunkt *o* des Bogens gehenden Radius liegt. Das gesunde, in unserem Beispiele das rechte Auge (*D* Fig. 259), ist allein auf diesen Punkt eingestellt. Befände sich auch das linke Auge in der normalen Stellung, d. h. wäre es nach *o* gerichtet, so würde seine Gesichtslinie durch den Nullpunkt des Perimeters gehen. *So* ist also die Richtung, welche das Auge haben sollte. Wir haben nur zu bestimmen, auf welchen Punkt des Bogens das Auge gerichtet ist, um den Schielwinkel am Perimeter ablesen zu können. In der That, ist *x* dieser Punkt, so ist *oSx* der Schielwinkel.

Wie lässt sich aber objektiv die Richtung der Gesichtslinie eines Auges bestimmen? — Wäre der Punkt des Auges bekannt, durch welchen diese Linie geht, so wäre die Bestimmung des Punktes, auf welchen sie gerichtet ist, nicht schwer. Dies ist aber nicht der Fall. Wir wissen nur, dass ihr Durchtrittspunkt gewöhnlich dem Centrum der Pupille nicht ferne liegt. So suchen wir jedenfalls erst den Grad des Perimeterbogens auf, nach welchem der durch das Pupillencentrum gehende Hornhautradius gerichtet ist Dies geschieht auf folgende Weise:

Wir führen, der Innenseite des Bogens entlang, eine kleine Kerzenflamme *F*, und folgen deren Bewegungen mit einem Auge so, dass unser Auge und die Flamme sich stets auf demselben Radius befinden. Der Ort des Bogens, wo wir die Flamme hinbringen müssen, damit ihr Reflex uns gerade im Centrum der Pupille des schielenden Auges erscheine, entspricht dann dem Winkel des scheinbaren Schielens[1]).

Wünschen wir den Grad des wirklichen Strabismus zu kennen, so müssen wir nun noch den Winkel bestimmen, der die Pupillarachse von der Gesichtslinie trennt. Wir haben diesen Winkel mit dem Buchstaben Kappa bezeichnet (113a u. 171).

Der Winkel ϰ lässt sich für unsere Zwecke am einfachsten in folgender Weise bestimmen (Fig. 260): Während das eine Auge geschlossen ist, lässt man das im Centrum des Perimeters stehende eine im Nullpunkte *O* des Bogens befindliche Flamme fixieren. Die Gesichtslinie ist dann auf den Nullpunkt gerichtet. Würde sie mit der Pupillarachse zusammenfallen, so würde der Reflex der Flamme einem über diesen Nullpunkt visierenden Auge im Centrum der Pupille des beobachteten Auges erscheinen. Dies kommt vor, ist aber nicht die Regel. Meistens geht die Pupillarachse, ohne bedeutenden Höhenunterschied, außen oder innen an der Gesichtslinie vorbei.

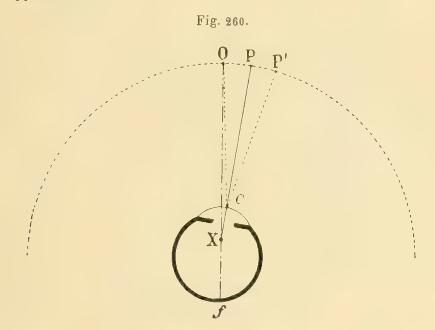
---

1) Statt des Pupillencentrums hat man das Centrum der Hornhaut zum Ausgangspunkte dieser Messung machen wollen. Diese Wahl scheint uns jedoch nicht sehr glücklich. Einmal ist der Mittelpunkt der Hornhaut schwieriger zu bestimmen. als der der Pupille, sodann ist es nicht die Hornhaut, sondern die Pupille. welche für den Beobachter die Richtung des Blickes bestimmt.

Um gleichzeitig den Sinn und den Grad des Winkels z zu finden, lassen wir die Flamme im Nullpunkte des Bogens stehen und führen unser Auge dem letzteren entlang, bis uns ihr Reflex im Centrum der Pupille des beobachteten Auges erscheint. Der Grad, über welchen wir dabei visieren, entspricht dann dem doppelten Winkel z.

In der That: sei fO die Gesichtslinie, XP die Pupillarachse, so ist OXP der Winkel z. Um das Reflexbild von O im Pupillarcentrum zu sehen, muss der Beobachter über P' visieren. Der Winkel OCP' entspricht aber der Summe des Einfallswinkels OCP und des Reflexionswinkels PCP', die einander gleich sind. Da aber der Winkel OCP dem Winkel z gleich gesetzt werden kann, so ist eben der Winkel OCP' gleich dem doppelten Winkel z.

Fig. 260.



Es möchte einfacher scheinen, nicht die Kerzenflamme, sondern den Nullpunkt fixieren zu lassen, und mit der ersteren direkt den Grad P des Bogens aufzusuchen, bei welchem ihr Reflex den Mittelpunkt der Pupille einnimmt. Der Winkel z ist jedoch gewöhnlich so klein und die Fehlerquellen dieser Messung sind so groß, dass wir der ersteren, doppelt so genauen Methode, den Vorzug geben.

Meistens liegt die Pupillarachse temporalwärts von der Gesichtslinie. Man pflegt dann den Winkel z als positiv zu bezeichnen. — Dieser Fall kann, bei vollkommen richtiger Einstellung der Gesichtslinien, einen Strabismus divergens vortäuschen. Er lässt einen wirklichen Strabismus divergens um z größer, einen convergens um z kleiner erscheinen, als er wirklich ist. Um den wirklichen Grad des Schielens zu finden, muss also der positive Winkel z von dem Grade des scheinbaren Strabismus

divergens abgezogen, dem des scheinbaren Strabismus convergens zugezählt werden.

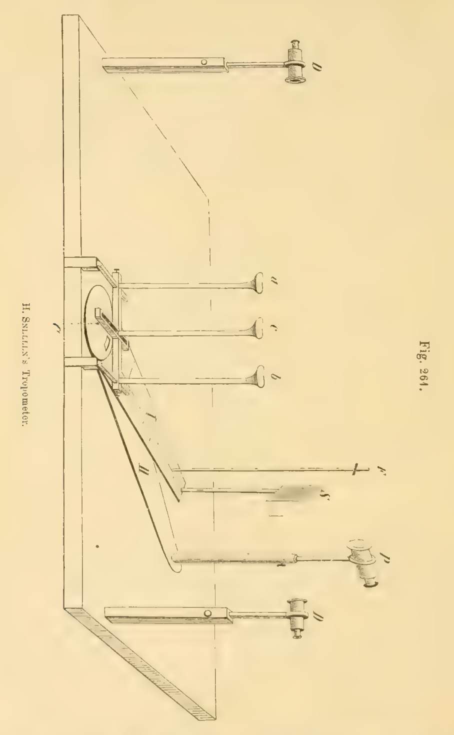


Fig. 264.

H. Snellen's Tropometer.

Negativ heißt man den Winkel z, wenn die Pupillarachse nasalwärts von der Gesichtslinie liegt. Dadurch entsteht im Normalzustande ein scheinbarer Strabismus convergens. Der negative Winkel z muss also,

bei wirklichem Schielen, von dem Grade des scheinbaren Strabismus convergens subtrahiert, zu dem des Strabismus divergens addiert werden.

Die Erfahrung hat uns gelehrt, dass der Winkel $\varkappa$ durchaus nicht immer zu vernachlässigen ist, indem er häufig 5° und mehr erreicht. Berücksichtigt man ihn jedoch in der angegebenen Weise, so dürfte die Bestimmung des Schielwinkels mittelst des Perimeters für die Praxis genügen[1].

Um größere Genauigkeit zu erreichen, hat Snellen schon in der ersten Ausgabe dieses Handbuches folgendes »Tropometer« angegeben (Fig. 261): »Der Apparat besteht der Hauptsache nach aus zwei Armen *I* und *II*, die um den Punkt *C* übereinander drehbar sind. Der Arm *I* wird in die Richtung gebracht, in welcher das Auge sehen soll. Der Arm *II* dagegen wird so gestellt, dass er die Richtung angiebt, in welcher das Auge wirklich sieht. Der Winkel, den diese beiden Arme einschließen, wird an einem graduierten Bogen, der mit dem einen Arme verbunden ist, abgelesen. Damit der Winkel, den die beiden Arme miteinander bilden, jeweilen mit dem Schielwinkel übereinstimme, muss sich der Punkt *C*, um welchen sich die Arme drehen, unter dem Drehpunkte des schielenden Auges befinden. Zu diesem Zwecke geht von *C* aus eine vertikale Stange nach aufwärts, gegen deren anderes Ende *c* der untere Orbitalrand angelehnt wird. Zu beiden Seiten dieser Stütze befinden sich zwei weitere Stützen *a* und *b*, gegen welche der andere Orbitalrand angelehnt wird, je nachdem die Ablenkung das rechte oder das linke Auge betrifft. Die drei Stützen können gemeinschaftlich nach vorn oder nach hinten verschoben werden; die mittlere auch für sich allein für den Fall, dass eine Asymmetrie der beiden unteren Orbitalränder besteht.

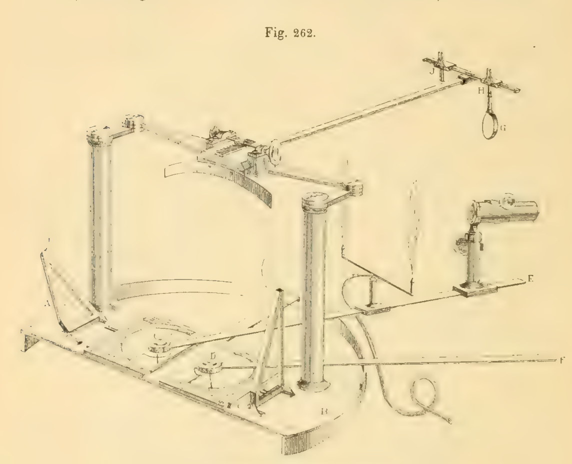
Der Kopf muss nun so lange nach vorn und hinten, nach rechts und links verschoben werden, bis sich der Drehpunkt des untersuchten Auges genau vertikal über dem Mittelpunkte *C* des Apparates befindet. Da das jedesmalige Verschieben des Kopfes einige Schwierigkeit darbietet, verdient eine spätere Abänderung des Apparates den Vorzug, wobei das ganze Brett, mit den beiden drehbaren Armen, unabhängig von den Stützen verschoben werden kann. Man hat alsdann den Mittelpunkt des Apparates unter den Drehpunkt des Auges zu bringen, während der Kopf des Untersuchten angelehnt bleibt. Die beiden seitlichen kleinen Fernröhren, *D* und *D*, dienen

1 Zur Veranschaulichung des Punktes des Auges, durch welchen die Gesichtslinie geht, bedeckt Maddox das Objektiv eines photographischen Apparates, bis auf das Centrum, mit weißem Papier. Der Untersuchte wird angewiesen, den Mittelpunkt des Objektives zu fixieren. In dem photographischen Bilde erscheint dann auf der Hornhaut ein weißer Fleck mit einem punktförmigen schwarzen Centrum. Dies letztere entspricht offenbar der Stelle, durch welche die Gesichtslinie geht (161a).

zur Kontrolle, ob der einmal richtig gestellte Kopf nicht den Platz oder die Richtung ändere. Um sich dessen zu vergewissern, lässt man das Auge das Centrum des Fernrohres P fixieren, und überzeugt sich — indem man aus verschiedenen Richtungen durch dasselbe blickt — ob sich die Pupille dabei dem Fernrohre gegenüber stets in der gleichen Lage befinde.

Der Arm I giebt also die Richtung an, in welcher das abgewichene Auge sehen müsste, wenn das andere sich auf einen Punkt der Stange F richtet, die längs des Armes I verschoben werden kann, oder mit Hilfe

Fig. 262.



Strabometer nach Sattler und Hering.

des Spiegels S auf einen ferneren Punkt, der sich in der Verlängerung des Armes I befindet. Wenn das untersuchte Auge noch ausreichend scharf sieht, um zu fixieren, so ist die gesuchte Richtung des Armes II leicht zu finden. Man braucht einfach festzustellen, bei welchem Stande des Fernrohres das abgewichene Auge, ohne sich zu bewegen, die Mitte der Öffnung desselben fixiert, während das zweite Auge geschlossen ist. Wenn dagegen das Sehvermögen zur Fixation nicht ausreicht, und man auf diese Weise die Richtung der Gesichtslinie nicht bestimmen kann, so ist man auf die objektive Bestimmung der Augenachse angewiesen. Dazu bringt man über

dem Fernrohre eine Flamme an, und stellt dasselbe, durch entsprechende Drehung des Armes H, so ein, dass sich das Hornhautbild der Flamme gerade im Centrum der Pupille befindet.«

Einen ähnlichen Apparat haben auch Sattler und Hering konstruieren lassen (148) (Fig. 262):

»Auf einer messingenen Fußplatte AB (Fig. 262), die sich in einen kreisförmig gebogenen Rahmen fortsetzt, erheben sich zwei Säulen, welche den mittelst Triebes in horizontaler Richtung verschiebbaren Stirnhalter tragen. Durch diesen wird der Kopf des Patienten derart eingestellt, dass die Drehpunkte der Augen senkrecht über C und D, die Achsen der Stahlschienen CE und DE zu liegen kommen. Zur Sicherung dieser Einstellung dienen zwei, in den Spitzen drehbare Metallwinkel, mit je einem Kreissegment, deren konvexe Ränder an die äußeren Lidwinkel des Patienten gelegt werden. Da die letzteren dann in der auf C und D senkrechten Ebene liegen, so liegen die Drehpunkte der Augen auch ziemlich genau über C und D, wenn deren Abstand dem der Drehpunkte gleich gemacht worden ist. Dies geschieht vor Beginn der eigentlichen Untersuchung durch entsprechende Einstellung der in querer Richtung verschieblichen, durch Schrauben fixierbaren Schlittenschieber, welche die Achsen C und D tragen.

Von den um letztere drehbaren Stahlschienen trägt die dem schielenden Auge entsprechende einen leicht verschieblichen, doppelarmigen Gasbrenner, dessen Stichflammen sich als zwei feine leuchtende Streifen auf der Hornhaut des Patienten abbilden, und durch zweckmäßige Verschiebung des Brenners genau auf die Pupillenränder projiziert werden können, wenn die Schiene in die Vertikalebene der Achse des schielenden Auges gebracht ist. Diese Einstellung geht eben so leicht als präcise von statten, da der Beobachter die Lage der Flammenbildchen in Bezug auf die Pupillenränder durch ein kleines auf die nämliche Schiene geschobenes Fernrohr mit größter Schärfe kontrollieren kann.

Der Schielwinkel (inkl. $\angle\gamma$) wird durch einen, der Bewegung der Schiene folgenden Zeiger, an den mit Gradeinteilung versehenen Halbkreisen registriert, die auf den Schlittenschiebern angebracht sind.

Um den Schielwinkel bei akkommodationsloser Primärstellung und bei beliebigen Konvergenzgraden messen zu können, sind folgende Vorkehrungen für die Anbringung des Fixationsobjektes getroffen. An einem 45 cm langen, dem oben erwähnten Stirnhalter senkrecht angesetzten Stahlstabe befindet sich ein auf diesem verschieblicher Querstab mit Millimetereinteilung. Auf diesem gleitet beiderseits ein kleiner Schlitten mit je einer Hülse (H und J) für das Fixationsobjekt, das durch Verschiebung des Schlittens dem betreffenden Drehpunkte genau gegenübergestellt werden kann. Als Fixationsobjekt dient eine kleine runde Milchglasplatte (G) mit centraler Bohrung, die in eine der Hülsen hineingesteckt und darin drehbar ist. Auf der Rückseite

von G befindet sich ein kleiner Spiegel. Soll der Schielwinkel in der Primärstellung gemessen werden, so wird der Spiegel dem normalen Auge gegenüber so gedreht, dass ein hinter dem Rücken des Patienten in beliebiger Entfernung befindlicher und diesem vorher bezeichneter Gegenstand in dem Spiegel sichtbar wird und fixiert werden kann. (Bei Strabismus divergens kann man auch das normale Auge durch einen an gleicher Stelle angebrachten Metallring zum Fenster hinausschauen lassen.)

Wird der Sehwinkel bei einem bestimmten Konvergenzgrade gemessen, so fixiert der Patient das Centrum der Milchglasplatte, die gewöhnlich in die mittlere Hülse gesteckt wird. Behufs der an diesem Apparate mit ganz besonderer Exaktheit ausführbaren Messung des $\angle \gamma$, wird G dem Drehpunkte des schielenden Auges gegenübergestellt und dieses zur Fixation veranlasst, während das normale Auge verdeckt wird. Hierauf wird ebenso wie vorher der von dem Zeiger notierte Winkel abgelesen, nachdem die Flammenbildchen auf die Pupillenränder gebracht sind.«

Subjektive Methoden der Strabometrie.

§ 238. In subjektiver Weise kann der Grad des Schielens selbstredend nur dann bestimmt werden, wenn dasselbe zu subjektiven Merkmalen Veranlassung giebt. Dies ist der Fall, wenn ein binokular Sehender vom paralytischen Schielen befallen wird, dessen Hauptsymptom das Doppeltsehen ist.

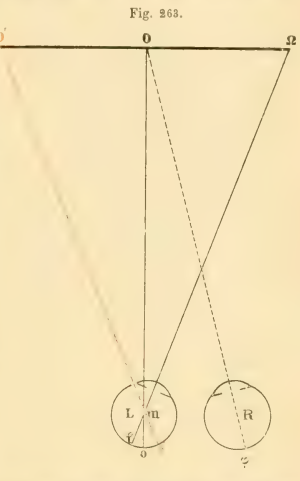
Der Abstand zwischen den Doppelbildern ist denn auch seit langer Zeit schon zur Schätzung des Schielgrades benutzt worden. Nur musste man, weil dieser Abstand auch der Entfernung des Fixierobjektes proportional ist, gleichzeitig auch immer die letztere angeben. Außerdem erhellt aus dem gegenseitigen Abstande der Doppelbilder durchaus nicht gleich sein Verhältnis weder zu dem Schielwinkel, noch zu dem korrigierenden Prisma, die doch ebenfalls von dem Grade des Schielens abhängen.

Eine wirklich rationelle Methode zur Bestimmung des Schielgrades wurde die Messung der Diplopie erst, als wir (1875) nachwiesen, dass der gegenseitige Abstand der Doppelbilder gleich ist der Tangente des Schielwinkels (78).

Dies gelang uns, dank der Erklärung, die wir (l. c.) von dem Zustandekommen des Doppeltsehens gegeben haben: Sei in Fig. 263 L das linke, von Paralyse des Rectus externus befallene und deshalb nach innen abgewichene Auge, f seine Fovea, O ein weit entfernter Fixierpunkt. Statt wie das gesunde rechte Auge R nach O, ist das paretische Auge L nach Ω gerichtet. Oo ist die Richtung, die es haben sollte, Ωf die Richtung, die es in Wirklichkeit inne hat. $Om\Omega$ ist also der Schielwinkel, und $O\Omega$ dessen Tangente.

Das Bild des Objektes O, das im gesunden Auge auf die Fovea q fällt, trifft im kranken Auge einen um den Schielwinkel nach innen von derselben gerichteten Punkt o ($Om\Omega = fmo$). Dies nasalwärts von der Fovea auf die Netzhaut treffende Bild wird bekanntlich temporalwärts nach außen projiziert, und zwar dahin, wo ein Objekt sich befinden müsste, um, bei normaler Richtung des Auges, sein Netzhautbild in o zu entwerfen. Die normale Richtung des Auges ist aber diejenige, bei welcher die Fovea f dem Fixierpunkte O gerade gegenüberliegt. Dem Auge die richtige Stellung geben heißt also, dasselbe um den Schielwinkel in seine normale Lage zurückdrehen. Damit rückt f an die Stelle, wo früher o stand, und o um den Schielwinkel nach o' ($fmo = omo'$, $fo = oo'$).

Fig. 263.

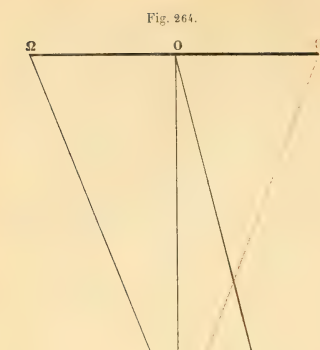


Um nun die Projektion des Bildes o' zu finden, brauchen wir einfach die Linie $o'm$ nach außen zu verlängern, und O', in der Ebene des Objektes O, giebt uns den Ort, wo das in o entstandene Bild des Objektives O hin verlegt wird. Da das gesunde Auge das Objekt in O, das kranke dasselbe in O' sieht, so ist OO' der Abstand zwischen den Doppelbildern. Da aber der Winkel $o'mo$ gleich ist dem Winkel omf, und omf gleich dem Schielwinkel $Om\Omega$, so ist auch OmO' gleich dem Schielwinkel, und somit $OO' = O\Omega$ gleich der Tangente desselben[1].

Führen wir die gleiche Demonstration auch für das paralytische Divergenzschielen aus: Sei (Fig. 264) L das, infolge von Paralyse des Internus,

1 Wir wissen ja wohl, dass sich die Achsen des Auges, nach welchen die Gesichtseindrücke projiziert werden, nicht, wie in dieser Figur, im Dreh-, sondern im Knotenpunkte kreuzen. Wir haben diesem Verhältnisse in unserem Traité complet d'Ophtalmologie IV. S. 822. Fig. 159 auch Rechnung getragen. Der daraus hervorgehende Fehler ist aber so gering, dass wir für unseren Zweck diese Punkte ganz wohl zusammenfallen lassen dürfen.

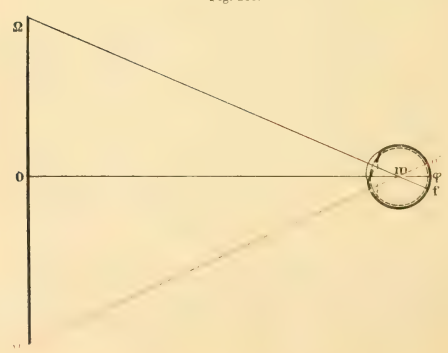
Fig. 264.



nach außen (Ω) abgewichene linke Auge. Statt nach f, fällt das Netzhautbild des Fixierpunktes O nach o. Seiner falschen Richtung nicht bewusst, projiziert das Auge dies Bild so, als ob es, wie das andere Auge, nach O gerichtet wäre, seine Fovea sich also in o befände. In diesem Falle aber läge die Stelle o in o', und entspräche einem in O' befindlichen Objekte. Der gegenseitige Abstand der Doppelbilder $O'O$ ist also auch hier wieder gleich $O\Omega$, der Tangente des Schielwinkels.

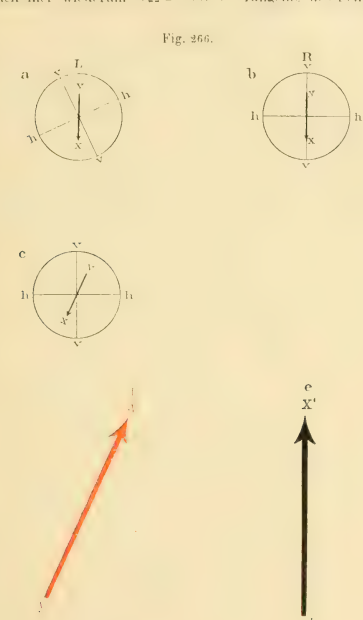
Noch deutlicher treten diese Verhältnisse zu Tage beim Aufwärts- oder Abwärtsschielen. Dabei können wir die beiden Augen, wie Fig. 265 angiebt, im Profil gesehen, als hintereinander

Fig. 265.



liegend betrachten. Das getüpfelte ist das normale, geradeaus nach O gerichtete Auge, das ausgezogene ist paralytisch nach oben abgewichen; $f\Omega$ ist seine Gesichtslinie. Statt, wie im gesunden Auge, in der Fovea q, kommt das Bild von O im kranken Auge in o' zu stande, und wird, um den Schielwinkel $Om\Omega = OmO'$, nach unten, d. h. nach O' projiziert. Also ist auch hier wiederum $O\Omega = OO'$ = Tangente des Schielwinkels.

Fig. 266.



Im Anschlusse an die Projektion der Gesichtseindrücke bei paralytischen Drehungen des Auges um die vertikale und horizontale Achse, dürfen wir auch wohl gleich diejenige erörtern, die stattfindet bei Drehung um die *sagittale* Achse, d. h. bei *pathologischer Rollung* des Auges 170a.

In Fig. 266 stellen L und R die beiden Augen dar, und zwar von hinten gesehen. Das linke Auge L habe, infolge der Paralyse eines Muskels, der normalerweise das obere Ende seines vertikalen Meridians nach innen neigt, eine entgegengesetzte Rollung nach außen erfahren, so dass nun sein vertikaler Meridian, statt wie im rechten Auge, vertikal zu stehen, die Richtung vv einnehme.

Das Bild yx einer vertikalen Linie fällt im rechten Auge auf den vertikalen, im linken dagegen auf einen Meridian, der bei normaler Stellung des Auges (Fig. 266c) die nasale Neigung yx hätte.

Die gleiche Neigung müsste auch ein Objekt haben, welches sein Bild yx in diesem Meridiane entwerfen würde. In der That braucht man das Netzhautbild yx (Fig. 266c) nur umgekehrt, wie alle Netzhautbilder, nach außen zu projizieren, um das entsprechende Objekt XY (Fig. 266d) zu erhalten. Dem nach innen oben liegenden Endpunkte y des Bildes entspricht der außen unten liegende Endpunkt Y des Objektes, dem außen unten liegenden Punkte x, der innen oben liegende Punkt X.

Während das rechte Auge R also das Objekt $X'Y'$ (Fig. 266e) in seiner richtigen Lage sieht, erscheint dasselbe dem linken, paralytischen Auge nasalwärts geneigt (Fig. 266d).

Daraus folgt, dass, wie bei Ablenkungen in horizontaler und vertikaler Richtung, so auch bei paralytischen Rollungen eines Auges, das von ihm erhaltene sogenannte falsche Bild die der pathologischen Stellung des Auges gerade umgekehrte Lage und Richtung einnimmt.

War einmal die Art und Weise des Zustandekommens der Diplopie richtig erkannt, so lag es auf der Hand, aus dem gegenseitigen Abstande der Doppelbilder den Schielwinkel abzuleiten, d. h. statt diesen Wert in Längenmaß auszudrücken, sofort den dieser Tangente entsprechenden Winkel anzugeben. Das thun wir denn auch schon seit 28 Jahren, d. h. seit der Einführung unserer S. 659 beschriebenen Tangententeilung. Im Nullpunkte, d. h. den Augen des Untersuchten gerade gegenüber, und in der durch die Stellung des Stuhles ein für allemal bestimmten Entfernung, befindet sich eine kleine Flamme. Der Kopf des Patienten wird während der ganzen Untersuchung gerade gehalten und das eine seiner Augen mit einem farbigen Glase bedeckt. Das eine Bild sieht der Patient selbstverständlich gerade vor sich, das andere, seinem Schielwinkel entsprechend, mehr oder weniger weit davon entfernt. Den Abstand zwischen den beiden Bildern findet man an der Wand aber nicht in Fuß und Zoll oder Centimetern, sondern in Graden des Schielwinkels ausgedrückt. Man kann denselben entweder in dem durch den Nullpunkt gehenden Meridian ablesen, oder aber, wenn die Doppelbilder nicht beide im horizontalen oder vertikalen Meridiane liegen, in eine horizontale und eine vertikale Komponente zerlegen, was äußerst einfach ist. Man spricht dann beispielsweise von Strabismus convergens mit homonymer Diplopie von 15° und Höherstehen des linken Auges von 1°, oder von Strabismus sursum vergens des einen Auges mit vertikaler Diplopie von 8° und gekreuzter Diplopie, resp. Divergenz von 2° u. s. f.

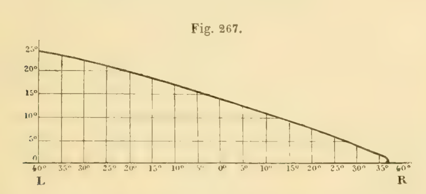
Statt auf den durch den Fixierpunkt gehenden Meridianen, hat Hirschberg (79) dieselbe auf einem vom Fixierpunkte ausgehenden Koordinatensysteme horizontaler und vertikaler Linien angebracht.

Das gelähmte von dem nicht gelähmten Auge zu unterscheiden.

§ 239. Wo es angeht, ist es sehr empfehlenswert, erst das eine, dann das andere Auge auf den Fixierpunkt zu richten. Es stellt sich dabei heraus, dass der Schielwinkel in beiden Fällen nicht der gleiche ist. Fixiert der Patient mit dem gesunden Auge, so ist der Schielwinkel kleiner, fixiert er mit dem kranken Auge, so ist er größer. Den auf das gesunde Auge übertragenen Schielwinkel bezeichnet man mit dem Namen der Sekundärablenkung.

Der von Lähmung eines Augenmuskels Befallene bedient sich nun durchaus nicht immer des nicht gelähmten Auges zum Sehen. Ist das gelähmte Auge das sehtüchtigere, so wählt er häufig dieses zum Fixieren. Das andere befindet sich dann in sekundärer Ablenkung, und der Schielwinkel erscheint größer, als es der Grad der Lähmung mit sich bringen würde. In solchen Fällen entscheidet dann einerseits die Vergleichung des Schielwinkels bei abwechselnder Fixation, andererseits die Beobachtung des Verhaltens des Schielwinkels in sekundären Richtungen des Blickes darüber, welches Auge das kranke, welches das gesunde ist.

Fig. 267.



Das Doppeltsehen nimmt nämlich zu in der Richtung der Wirkungssphäre des paralytischen Muskels, ab in der entgegengesetzten Richtung. Fig. 267 veranschaulicht dieses Verhältnis für einen Fall von Parese des Rectus externus des linken Auges. — Die unter der Horizontalen stehenden Zahlen geben die Exkursionen des gesunden (rechten) Auges an von dem gerade vor ihm liegenden Nullpunkte aus, die an der Vertikalen befindlichen Zahlen die dabei zu Tage tretende Diplopie, d. h. die Abweichung des kranken Auges. So war der Strabismus convergens des linken Auges in der Primärstellung (Punkt 0°) = 14°. Beim Blicke nach rechts nahm derselbe, wie die Kurve zeigt, ab, um bei 37°, wo die beiden Bilder zu

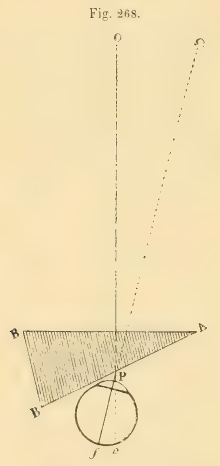
einem verschmolzen, plötzlich Null zu werden. Beim Blicke nach links, d. h. in der Richtung des paretischen Muskels dagegen, nahm die Diplopie, resp. die Ablenkung zu. Bei 20° war sie = 20°, bei 40° sogar = 25°.

Strabometrie mit Hilfe von Prismen.

§ 240. Prismatische Gläser lenken bekanntermaßen Lichtstrahlen nach ihrer Basis ab, so dass einem durch ein solches Glas schauenden Auge die Objekte nach dem Scheitel des Prismas verlegt erscheinen.

So wird, in Fig. 268, z. B. ein von O kommender Strahl OP, statt nach o weiterzugehen, durch das Prisma BAB nach f hin abgelenkt, als käme er in gerader Linie von Ω her. oPf ist also der Ablenkungswinkel des Prismas. Derselbe ist gleich dem Winkel $OP\Omega$, da Po die Verlängerung von OP, $P\Omega$ die von fP ist.

Fig. 268.



Diese Eigenschaft der Prismas kann dazu verwertet werden, die von einem Objekte kommenden Strahlen auf die Fovea eines abgewichenen Auges zu lenken, während sie sonst eine excentrische Netzhautstelle desselben getroffen hätten. Wäre z. B. das Auge der Fig. 268 nach Ω, statt nach O gerichtet, so würde das Prisma BAB die von O kommenden Strahlen nach der Fovea f lenken. Ist O das von dem gesunden Auge fixierte Objekt, so ist $OP\Omega$ der Schielwinkel. Dieser Winkel ist gleich dem Ablenkungswinkel des Prismas BAB. Man nennt dies Prisma das korrigierende Prisma, da es das Bild des Fixierpunktes auf die Fovea des schielenden Auges bringt, ermöglicht es die Verschmelzung der beidäugigen Gesichtseindrücke, hebt das Doppeltsehen auf, und korrigiert somit die hauptsächlichste, durch die Lähmung hervorgerufene Sehstörung.

Wir haben nun allerdings gesehen, dass der Schielwinkel nicht bei allen Blickrichtungen derselbe ist, sondern zunimmt in der Wirkungssphäre des gelähmten Muskels, ab in der entgegengesetzten Richtung. Dementsprechend bedarf der Patient auch im ersteren Falle ein stärkeres, im letzteren ein schwächeres Prisma zur Aufhebung seines Doppeltsehens.

Gerade nun wie wir mit dem Ausdrucke »Schielwinkel« die bei geradeaus gerichtetem Blicke des gesunden Auges stattfindende Abweichung des kranken Auges bezeichnen, so verstehen wir auch unter »korrigierendem Prisma« das in derselben Stellung der Augen die Diplopie aufhebende Prisma.

Da der Ablenkungswinkel des korrigierenden Prismas gleich ist dem Schielwinkel, so geben uns die prismatischen Gläser ein treffliches Mittel zur Bestimmung des Schielgrades. Es ist dies mit ein Grund, warum die in der Augenheilkunde verwerteten Prismen nach ihrem Ablenkungswinkel bezeichnet werden sollten.

Ein Strabismus von 10° würde dann einer Ablenkung von 10°, einer nach unserer Methode gemessenen Diplopie von 10° und einem korrigierenden Prisma Nummer 10, d. h. einem solchen von 10° Ablenkungswinkel entsprechen. Die drei Methoden der Strabometrie kontrollieren sich auf diese Weise gegenseitig, da sie alle dasselbe Resultat ergeben müssen.

Es kommt allerdings häufig vor (78), dass schon ein etwas schwächeres Prisma genügt, um die Doppelbilder zur Vereinigung zu bringen, als man nach dem objektiv oder mit der Diplopie bestimmten Schielwinkel erwarten würde. So könnte z. B. Prisma 19 einen Schielwinkel von 20° ausgleichen. Das rührt wohl daher, dass, wenn ein Prisma die Doppelbilder einander sehr nahe gebracht hat, die Fusionstendenz sozusagen das Übrige thut, d. h. in dem geschwächten Muskel eine Anstrengung hervorruft, die er unterlassen hat solange ihn der große Abstand der Doppelbilder von der Erfolglosigkeit derselben überzeugte. — Eine ganz analoge Beobachtung macht man auch, wie Fig. 267 zeigt, wenn man das Fixierobjekt allmählich der Wirkungssphäre des gelähmten Muskels entzieht. Da fällt dann die das Doppeltsehen, resp. den Schielwinkel darstellende Kurve oft plötzlich ab (in unserer Figur zwischen dem 35. und 40. Grade), d. h. in dem Momente, wo das Bild des kranken Auges seiner Netzhautgrube so nahe kommt, dass eine geringe Kontraktion des paretischen Muskels dasselbe auf die Fovea selbst zu bringen vermag.

Der eigentliche Schielwinkel findet seinen Ausdruck also nicht in dem schwächsten Prisma, das gerade noch die Verschmelzung der Doppelbilder herbeiführt, sondern in demjenigen, unter welchem diese Verschmelzung ohne Mühe eingehalten werden kann.

Die Numerierung der Prismen.

§ 241. Die in der Augenheilkunde verwerteten Prismen tragen als Nummern gewöhnlich den Grad ihres Öffnungswinkels. D. h. Prisma Nummer 5 unseres Brillenkastens ist ein Prisma, dessen Flächen unter einem Winkel von 5° zusammenstoßen. Es ist dies gerade so ungereimt, wie

wenn wir unsere Linsen nach dem Krümmungsradius ihrer Oberflächen numerieren ließen. Diese Bezeichnungsart hätte in der That nur einen Sinn, wenn wir uns der Prismen als Keile bedienen würden. Da uns aber deren optische Wirkung allein interessiert, so sollten wir von den Fabrikanten verlangen, dass sie uns, wie die Dioptrien auf die Linsen, so die Ablenkungswinkel auf die Prismen schrieben. Man sagt nun allerdings, der Ablenkungswinkel sei gleich der Hälfte des Öffnungswinkels des Prismas. Dafür müsste der Brechungsindex des Glases aber = 1,53 sein. Dies ist durchaus nicht immer der Fall. Jedenfalls differieren die Prismen unserer Brillenkasten, trotz gleicher Nummern, doch ganz bedeutend in ihrer Wirkung. Dem können wir nur ein Ende machen, wenn wir, unbekümmert um Öffnungswinkel und Brechungsindex, Prismen von gegebener Wirkung, d. h. gegebenen Ablenkungswinkeln, herstellen lassen (115).

Wir haben diesen Vorschlag, im Auftrage einer am internationalen medizinischen Kongress in Washington (1887) ernannten Kommission, im folgenden Jahre dem internationalen Ophthalmologenkongresse in Heidelberg, 1890 dem medizinischen Kongresse in Berlin vorgelegt, und auch seither oft noch in Wort und Schrift empfohlen (123). Nach unserem Dafürhalten soll der Winkel der geringsten Ablenkung, d. h. der Winkel zur Bezeichnung eines Prismas dienen, um welchen dasselbe einen Lichtstrahl ablenkt, der, im Innern des Prismas, senkrecht zu seiner Halbierungsebene verläuft. Für so schwache Prismen, wie sie in der augenärztlichen Praxis zur Verwendung kommen, ist allerdings der Unterschied zwischen dem Minimum der Ablenkung und derjenigen, die stattfindet, wenn der Lichtstrahl senkrecht auf eine der Oberflächen der Prismas trifft, sehr gering. Für einen Brechungsindex von 1,53 würde der Unterschied zwischen beiden erst bei $21^\circ 50'$ Öffnungswinkel 1° betragen.

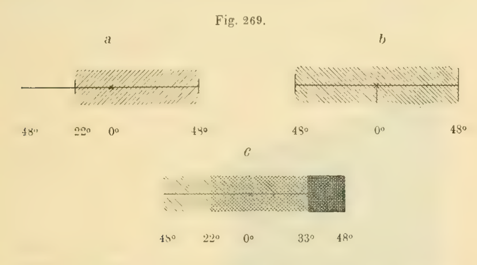
Herr Dennett (125) möchte die prismatische Ablenkung nach Centiraden, d. h. Zehnteln eines Radian, wie er den auf den Kreisumfang abgetragenen Radius nennt, ausgedrückt wissen. Herr Prentice (124) schlägt, als Maß, die Tangente des Ablenkungswinkels für einen Radius von 1 m vor, und zwar soll die Einheit, der Prismendiopter, der Ablenkung von 1 cm entsprechen. Herr Maddox (122) schlägt gar den Meterwinkel als Basis der Prismennumerierung vor. Der Meterwinkel ist aber eine ganz unkonstante Größe (S. 680), und kann nur zur Bestimmung der Konvergenzbreite dienen. Wie wollte man, beispielsweise, Höhenablenkungen damit ausdrücken?

Wir haben eine Kritik dieser Vorschläge seiner Zeit in dem Archiv für Augenheilkunde veröffentlicht (123) und glauben hier wirklich nicht wieder darauf zurückkommen zu müssen, da die einfache und logische Bezeichnung des Ablenkungswinkels nach Winkelgraden sich von selbst empfiehlt und sicher einst in die Praxis eindringen wird.

Die Bestimmung der Blickfelder beim Schielen.

§ 242. Die Messung der Exkursionen der einzelnen Augen, sowie des Raumes, der den Blicklinien beider gemeinschaftlich zugänglich ist, die Bestimmung des monokularen und binokularen Blickfeldes, wird beim Schielen gerade so vorgenommen, wie wir es S. 657 angegeben haben. Kommen wir hier noch einmal darauf zurück, so geschieht es nur, um auf die Wichtigkeit dieser Untersuchung in allen Fällen von Motilitätsstörungen, bei Strabismus ganz besonders, aufmerksam zu machen. Würde sie häufiger ausgeführt, nicht nur bei den verschiedenen Formen des Schielens, sondern namentlich auch vor und nach der Schieloperation, so würde in dies noch so dunkle Gebiet vielmehr Klarheit kommen.

Fig. 269.



Selbstverständlich darf sich die Bestimmung des Blickfeldes nicht auf das schielende Auge allein beschränken, sondern müssen die Exkursionen beider Augen gemessen werden. Jedenfalls sollte das wenigstens in dem Meridiane der Ablenkung geschehen, und zwar zu wiederholten Malen, da die Bewegungen der Augen mancherlei Schwankungen ausgesetzt sind. Wir haben seiner Zeit eine größere Zahl solcher charakteristischer Blickfelder in unserem Archives d'ophtalmologie veröffentlicht (97).

Wo es angeht, d. h. wo binokulares Einfachsehen besteht, sollte man bei Schielenden auch das binokulare Blickfeld messen. Dies gelingt am besten bei paretischem Schielen geringen Grades. Dabei ist es sehr interessant, zu konstatieren, wie weit das binokulare Blickfeld, d. h. das Gebiet des binokularen Einfachsehens, hinter dem jedem Auge einzeln zugänglichen Blickraume zurücksteht.

So entspricht z. B. Fig. 269a den horizontalen Exkursionen eines linken, von Parese des Externus befallenen, in der Primärstellung 8° nach innen schielenden Auges. Ihre nasale Grenze, 48°, ist der des normalen rechten Auges gleich, die temporale aber sehr beschränkt, 22°.

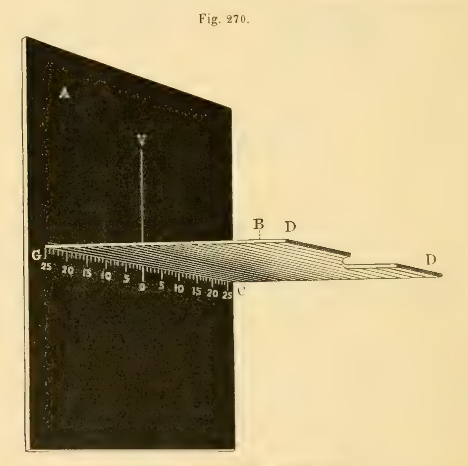
Das rechte, gesunde Auge (Fig. 269b) geht nach innen und außen bis 48°.

In Fig. 269c sind die horizontalen Teile der beiden Blickfelder, wie in a und b schraffiert, übereinander gezeichnet. Der beiden Augen einzeln zugängliche Teil erstreckt sich von 48° rechts bis 22° links vom Nullpunkte, hat also eine Ausdehnung von 70°. Gleichzeitig aber beherrschen die beiden Augen nur die kurze dreifach schraffierte Strecke vom 33. bis 48. Grade rechts, d. h. 15 Grade. Dies ist die horizontale Ausdehnung des binokularen Blickfeldes (143 und 170c).

Die Bestimmung der Projektion.

§ 243. Sehr empfehlenswert ist es, bei allen Motilitätsstörungen, ganz besonders bei Muskellähmungen, die Projektion zu bestimmen. Man bezeichnet damit die Richtung, in welcher das Individuum seine Gesichtseindrücke nach außen verlegt.

Fig. 270.



E. Landolt's Vorrichtung zur Prüfung der Projektion.

Wir haben dazu folgenden Apparat angegeben (160) (Fig. 270). Die vertikal stehende, schwarze Tafel A trägt, in ihrer Mitte, den weißen Strich VO. An der Tafel ist, mittelst der Charnieren GC,

ein Brett B befestigt. Dasselbe wird, bei der Untersuchung der Projektion in der Horizontalebene, horizontal gestellt und hat, auf der freien Seite DD, einen Ausschnitt für den Hals des Patienten. Ist letzterer richtig eingestellt, so befinden sich seine Augen 70 cm von der Tafel A entfernt. Er sieht dann die weiße Linie gerade vor ihm aufragen, während das Brett ihm den unteren Teil der Tafel sowohl als seine eigenen Arme vollkommen verdeckt. Unter dem Brette, der Berührungslinie desselben mit der Tafel entsprechend, befindet sich eine Einteilung, die, von der vertikalen Linie als Nullpunkt aus, gleichmäßig nach beiden Seiten geht. Sie entspricht, von Grad zu Grad, den Tangenten für einen Radius von 70 cm, d. h. der Entfernung der Augen von der Tafel.

Es handelt sich nun darum, festzustellen, wo der Patient die vor ihm liegende Linie hin verlegt. Dazu weist man ihn an, mit dem Zeigefinger erst der einen, dann der anderen Hand, unter dem Brette B, den Punkt der Tafel A zu bezeichnen, durch welchen ihm die Linie $V0$ zu gehen scheint. Bei der Untersuchung eines Auges allein, muss das andere durch eine Binde vollkommen verschlossen sein. Es ist aber auch ratsam, nach der monokularen die **binokulare** Projektion zu messen.

Um die Projektion bei Anomalien der Heber und Senker zu untersuchen, bedienen wir uns einer ganz ähnlichen Vorrichtung, nur ist die fixierte Linie horizontal, die Scheidewand, die nun auf der Schulter des Patienten ruht, vertikal gerichtet.

Hauptbedingung zur Erlangung eines gültigen Resultates ist einmal die, dass der Kopf des Patienten vollkommen gerade und in der richtigen Entfernung gehalten werde. Sodann, dass die Bezeichnung des Ortes, wo er die Linie wähnt, **sehr rasch** geschehe, und, bei Gebrauch der einen, die andere Hand gesenkt werde.

Die Projektion prüfen zu wollen, ohne dem Patienten seine Hand zu verdecken, geht, wie A. Graefe richtig bemerkt hat, nicht an, denn so wird er, bei der Annäherung an das Fixationsobjekt, seiner irrigen Projektion bewusst, und korrigiert sie.

Mit Hilfe der beschriebenen Methoden ist es uns gelungen, das Verhältnis darzulegen, das besteht zwischen dem **primären** und dem **sekundären Schielwinkel und der falschen Projektion.**

In frischen Fällen ist die **falsche Projektion gleich der Differenz zwischen dem sekundären und dem primären Schielwinkel.** Nehmen wir an, ein Patient sei von Parese eines Externus befallen, und dieselbe habe einen Strabismus convergens des kranken Auges, d. h. eine primäre Ablenkung, einen **primären Schielwinkel** von 15° veranlasst. Fixiert der Patient aber mit dem **kranken** Auge, so weicht das gesunde um einen **sekundären** Schielwinkel von 20° nach innen ab. Die Differenz zwischen beiden ist $20 - 15 = 5°$.

Untersucht man die **Projektion** der beiden Augen, so wird man sie auf dem gesunden richtig, auf dem kranken um 5° nach **außen** finden.

Die Erklärung dieser Thatsache ist leicht: Um sich auf das Fixierobjekt zu richten, bedarf das kranke Auge einer dem Grade seiner Lähmung entsprechend erhöhten Innervation. Mit dem Maße des Normalzustandes messend, verlegt es sozusagen das gesehene Objekt, dem erhöhten Impulse entsprechend, in die Wirkungssphäre des geschwächten Muskels hinüber. Die gleiche Innervation wird aber auch dem associierten Muskel des anderen Auges, in unserem Falle dem Rectus internus zu teil. Dieser ist gesund, und antwortet auf die verstärkte Innervation mit einer verstärkten Kontraktion, welche das Auge um eine entsprechende Strecke weiter nach innen führt.

So können wir also sagen:

Die falsche Projektion ist der Ausdruck der, infolge der paretischen Schwächung des Muskels nötigen, erhöhten Innervation auf dem kranken Auge. Der Überschuss der Sekundär- über die Primärablenkung ist der Ausdruck dieser erhöhten Innervation auf dem gesunden Auge (143).

Untersuchung der Beziehung der beiden Netzhäute Schielender zu einander.

§ 244. Auch bei nicht paralytischem Schielen ist es in hohem Grade interessant, festzustellen, wie das abgewichene Auge seine Gesichtseindrücke lokalisiert, einmal, wenn es allein fixiert, namentlich aber, wenn es mit dem anderen Auge gemeinschaftlich sieht.

Für diese Untersuchungen, zu denen auch schon die früher besprochenen stereoskopischen gehören, giebt es nun noch eine große Zahl von Methoden. Wir erwähnen hier nur die hauptsächlichsten, da dieser Gegenstand anderweitig eine eingehendere Bearbeitung erfahren wird.

1. Man bedeckt das schielende Auge mit einem roten Glase und führt, bei ruhiger Fixation des anderen Auges, eine kleine weiße Scheibe langsam in die Sehrichtung des schielenden Auges. Es kommt dann vor, dass die Scheibe, wenn ihr Bild in dem schielenden Auge auf die Fovea, im nicht schielenden auf eine excentrische Netzhautstelle fällt, rot erscheint (A. Graefe). Daraus lässt sich schließen, dass nicht alle das schielende Auge treffenden Gesichtseindrücke unempfunden bleiben.

2. Besonders lehrreich sind die Versuche mit **Nachbildern**. Dazu lässt sich schon ein leuchtender Punkt auf dunklem Grunde verwerten. Man lässt denselben, bei Ausschluss des anderen, von dem Schielauge fixieren, bis dasselbe von dem Punkte ein dauerndes Nachbild erhalten hat. Dann giebt man das andere Auge auch frei, und lässt es nach dem

Nullpunkte einer an der Wand verzeichneten Koordinatenteilung blicken. Die Einteilung entspricht den Tangenten für einen Radius, der gleich ist der Entfernung der Augen von der Wand.

Hierauf sucht man, mit dem Knopfe eines auf der Wand gleitenden Stäbchens, den Ort auf, wo das Nachbild des Schielauges hinfällt, und kann dann angeben, in welcher Richtung und um wie viele Grade die Sehrichtungen der beiden Augen voneinander abweichen.

Benutzt man, statt eines einfachen Punktes, zur Hervorrufung des Nachbildes ein, aus einem vertikalen und einem horizontalen Glühfaden gebildetes Kreuz, so kann man, aus der Projektion desselben, wenn das eine Auge den Nullpunkt des Koordinatensystems fixiert, auch noch die Richtung der Meridiane des abgewichenen Auges erschließen.

3. Ruft man, auf dem einen Auge, das Nachbild eines vertikalen, auf dem anderen das eines horizontalen Glühfadens hervor, und zwar so, dass in beiden der Mittelpunkt des Fadens fixiert wird, so bilden, bei der Fixation eines Punktes, die beiden Nachbilder nur dann ein regelmäßiges Kreuz, wenn beide Augen vollkommen normal gerichtet sind.

Bei Schielen dagegen sind die beiden Linien zu einander um so unregelmäßiger gelegen, je mehr die Sehrichtungen der beiden Augen voneinander differieren. Sie können nicht nur in Höhe und Breite, gleichnamig oder gekreuzt auseinander gehen, sondern auch in dem einen oder anderen Sinne zu einander geneigt sein.

Die Untersuchungen, die bestimmt sind, Aufschluss zu geben über das Sehen der Schielenden, sind in jüngster Zeit hauptsächlich durch E. Hering's Schule unternommen worden. Was die dazu verwendeten, zum Teile nicht ganz einfachen Methoden betrifft, so müssen wir uns hier darauf beschränken, den Leser auf die im Litteraturverzeichnis angegebenen Arbeiten von Hering (166), Schnabel (154), Bielschowsky (158, 172, 173, 174), Gaudenzi (167), M. Sachs (168), Hofmann (174), Tschermak (175) und Schlodtmann (176) zu verweisen.

Litteratur zu Abschnitt XIII.

1839. 1. Wheatstone, Über das Sehen mit zwei Augen und das Stereoskop. Pogg. Ann. XLVII. S. 625 u. Bibl. Universelle. N. S. XVII. S. 174.

1846. 2. Volkmann, Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtes. Wagner's Handwörterbuch. III. Art. Sehen. S. 274.

3. Donders, F. C., Over het verband tusschen het convergeren der gezichtsassen en den accommodatietoestand der Oogen. Nederl. Lancet. Jaarg. 1846/47. S. 603.

4. Donders, F. C., Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges. Holl. Beiträge zu d. anat. u. physiol. Wissensch. I. S. 104—145 u. 384—386.

1849. 5. Brewster, Rep. of the Brit. Assoc. II. S. 5 u. Das Stereoskop. Übersetzt v. Schmidt. Weimar 1862.
1850. 6a. Donders, F. C., Oorzaken van Scheelzien. Nederl. Lancet. S. 268.
1851. 6b. Czermak, Über Abhängigkeit der Akkommodation und Konvergenz. Wiener Berichte. XII. S. 337—348 u. XV. S. 438—454.
1854. 7. Fick, A., Die Bewegungen des menschlichen Augapfels. Zeitschr. f. rat. Med. IV. S. 801.
1855. 8. Meisner, G., Zur Lehre von den Bewegungen des Auges. Arch. f. Ophth. II, 1. S. 1.
1857. 9. Ruete, Ein neues Ophthalmotrop. Leipzig.
1858. 10. v. Graefe, A., Klinische Analyse der Motilitätsstörungen des Auges. Berlin.
1859. 11. Meisner, C., Über die Bewegungen des Auges nach neuen Versuchen. Zeitschr. f. rat. Med. VIII, 1.
12. Wundt, W., Über die Bewegungen des Auges. Verh. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg.
1861. 13. Nagel, A., Das Sehen mit zwei Augen.
1861—1864. 14. Hering, E., Beiträge zur Physiologie. Leipzig, Engelmann.
15. Nagel, A., Über die ungleiche Entfernung von Doppelbildern, welche in verschiedener Höhe gesehen werden. Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 368.
16. Wundt, W., Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges in gesundem und krankem Zustande. Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 88.
1862. 17. Donders, F. C., und D. Doijer, Die Lage des Drehpunktes des Auges. Arch. f. holl. Beiträge. III. S. 560. Versl. Gasth. v. Oogl. S. 209.
18. Donders, F. C., Ätiologie des Schielens. Internat. ophth. Kongr. zu Paris u. The Anomalies of Refraction and Accommodation. S. 291 u. 402. 1864; Deutsche Ausgabe. S. 243 u. 338. 1866.
1863. 19. Schuurmann, Akad. Proefschrift. Utrecht.
20. Javal, E., Note sur un moyen nouveau de choisir les verres prismatiques pour le strabisme. Ann. d'Ocul. L. S. 316.
21. v. Helmholtz, H., Über die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. Arch. f. Ophth. IX, 2. S. 153—214.
22. Hering, E., Beiträge zur Physiologie. Heft 3 u. 4. Leipzig.
23. Donders, F. C., Zur Pathogenie des Schielens. Arch. f. Ophth. IX, 3. S. 99.
1864. 24. Donders, F. C., The Anomalies of Refraction and Accommodation. Deutsche Ausgabe. S. 243.
25. Daselbst. S. 94.
26. Ruete, Über die Richtungslinien des Sehens. Sitzungsbericht. II. S. 3 u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 186.
27. Ruete und Javal, Methode zur Heilung gewisser Fälle von Strabismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. II. S. 404 u. Ann. d'Ocul. LIV. S. 14 u. LXV. S. 124.
1865. 28. Hering, E., Arch. f. Anat., Physiol. u. wissensch. Med. S. 153.
29. Nagel, A., Zur Lokalisation der Doppelbilder. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. III. S. 367.
30. Nagel, Zur Symptomatologie des Schielens. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. III. S. 63.
31. Laurence, J. Z., On some ophthalmic instruments. Ophth. Rev. I. S. 126.
32. Giraud-Teulon in C. R. LVIII. S. 361. Sur le centre de rotation u. in Meisner's Jahresberichte über die Fortschritte d. Physiol. in der Zeitschr. f. rat. Med.
33. Aubert, Physiologie der Netzhaut. S. 316.
1866. 34. v. Helmholtz, H., Physiol. Optik. 2. Ausg. S. 618, 633 u. 808.

1866. 35. Daselbst. S. 93.
36. Daselbst. S. 829.
37. Daselbst. S. 657.
1867. 38. Donders, F. C., Verminderte accommodatie breedte, oorzaak van strab. convergens. Nederl. Arch. II. S. 464.
39. Donders, F. C., Het binoculaire zien en de voorstelling der derde dimensie. Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 7. S. 101 u. Arch. f. Ophth. XIII, 1. S. 1.
40. Hock, J., Über ein Mittel, die bei der Bewegung der Augen eintretenden Meridianneigungen direkt zu beobachten. Wiener med. Wochenschr. XVII. S. 101.
41. Engelmann, Th. W., Over schijnbewegingen bij nabeelden. Nederl. Arch. III. S. 114.
1868. 42. Hering, E., Die Lehre vom binokularen Sehen. S. 74 u. Physiol. Optik. S. 477.
43. Nagel, A., Über das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie. Arch. f. Ophth. XIV, 2. S. 228.
44. Müller, J. J., Untersuchungen über die Lage des Drehpunktes des Auges. Arch. f. Ophth. XIV, 3. S. 205.
1869. 45. Hering, E., Über die Rollung des Auges um die Gesichtslinie. Arch. f. Ophth. XV, 1.
46. Volkmann, Bericht d. sächs. Ges. d. Wissensch. Math.-phys. Kl. Febr.
1870. 47. Listing, Über eine neue Art stereoskopischer Wahrnehmung. Nachrichten v. d. königl. Ges. d. Wissensch. u. d. g. a. Univ. zu Göttingen. No. 21. S. 431—455. 1869 u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 29.
48. Giraud-Teulon, De la loi de rotation du globe oculaire dans les mouvements associés des yeux. Acad. des Sc. 25. April. u. Journ. de l'Anat. et de la Physiol. de Robin. Juli.
49. Berthold, H., Diagnostik der Motilitätsstörungen. Verein f. wissensch. Heilk. Königsberg u. Berliner klin. Wochenschr. No. 29. S. 353.
50. Donders, F. C., De beweging van het oog, toegelicht met het phaenophthalmotroop. Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 11. S. 54; Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 154 u. Nederl. Arch. V. S. 222.
51. Woinow, M., Über den Drehpunkt des Auges. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 243.
1871. 52. Woinow, M., Beiträge zur Lehre von den Augenbewegungen. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 233.
53. Javal, E., Du strabisme. Ann. d'Ocul. LXV. S. 97.
54. Donders, F. C., Die Projektion der Gesichtserscheinungen nach den Richtungslinien. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 1.
55. Berlin, R., Über eine Prismenvorrichtung zur bequemen Messung der seitlichen Abweichung bei Insufficienz. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 34.
56. Nagel, A., Über das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie. Zweiter Artikel. Arch. f. Ophth. XVII, 1. S. 237.
57. Berlin, E., Beitrag zur Mechanik der Augenbewegungen. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 154.
58. Nagel, A., Über das Vorkommen von wahren Rollungen der Augen um die Gesichtslinie. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 243 u. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XII. S. 331.
59. Javal, Détermination de l'angle alpha. Ann. d'Ocul. LXV. S. 123.
1872. 60. Kugel, L., Zur Diagnose der Muskelinsufficienzen. Arch. f. Ophth. XVIII, 2. S. 165.
1873. 61. van der Meulen, S. G., Stereoskopie bei unvollkommenem Sehvermögen. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 100—136.

1873. 62. van der Meulen, S. G., und F. C. van Dooremaal, Stereoskopisches Sehen ohne korrespondierende Halbbilder. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 137—141.

63. Schoeler, H., Zur Identitätsfrage. 1. Grenzen der Korrespondenz beider Sehfelder bei Betrachtung a) linearer resp. flächenhafter, b) körperlicher Objekte. 2. Messung der Disparität an Schielenden und Aufdeckung neuer, bisher latenter Schielformen durch das Prinzip der stereoskopischen Parallaxe. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 1.

64. Dobrowolski, De la rotation des yeux dans la convergence et l'accommodation. Ann. d'Ocul. LXX. S. 172 u. Arch. f. Ophth. XVIII, 1. S. 53.

65. Schröter, P., Der Basalmesser u. s. w. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Februar.

66. Hoppe, J. J., Das stereoskopische Sehen. Erklärung der Erscheinungen und Vorgänge im Stereoskop. Basel.

1874. 67. Hoppe, J. J., Über den Einfluss des Augenkonvergenzgrades auf die scheinbare Größe und Entfernung der Gegenstände. Der Meyer'sche Versuch. Deutsche Klinik. No. 32—37.

68. Hoppe, J. J., Das stereoskopische Anschauen der beiden Hälften einer durchschnittenen stereoskopischen Photographie unter Auseinanderrücken oder Zusammenschieben dieser beiden Hälften. Memorabilien. S. 149 u. 158.

69. Landolt, E., Ophthalmotropometrie in Snellen und Landolt, Untersuchungsmethoden. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl. III. S. 229.

69a. Cuignet, Des attitudes dans les maladies des yeux et du torticolis oculaire. Rec. d'Opht. 2. sér. S. 199 u. 338.

70. Snellen, H., Strabometer. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl. III. S. 236; Ann. d'Ocul. LXXI. S. 270 u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 424.

71. Giraud-Teulon, Attitudes symptomatiques des paralysies musculaires de l'oeil. Ann. d'Ocul. LXXI. S. 184.

72. Tupper, J. L., On the centre of motion in the human eye. Proc. R. Soc. of London. XXII. S. 429—430.

73. Giraud-Teulon, Des attitudes symptomatiques des paralysies musculaires des yeux considérées comme élément de diagnostic différentiel. Mém. lu à l'Acad. de Méd. de Paris. 31. März u. Ann. d'Ocul. Juli-August. S. 1.

74. Donders, F. C., De primaire standen van het oog. 15 de Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 8—13.

75. Landolt, E., Das Chiastometer. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. III. S. 238.

1875. 76. Mannhardt, J., Muskuläre Asthenopie und Myopie. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 69.

77. Weiss, Bestimmung des Drehpunktes im Auge. Arch. f. Ophth. XXI, 2. S. 132.

78. Landolt, E., De la Strabométrie. Ann. d'Ocul. Juli.

79. Hirschberg, Über Blickfeldmessung. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. IV, 2. S. 273 u. Arch. of Ophth. IV. Sept.

80. Schneller, Studien über das Blickfeld. Arch. f. Ophth. XXI, 3. S. 133 u. XXII, 4. S. 147.

81. Schneller, Veränderungen des Schielwinkels beim Blick nach oben und beim Blick nach unten. Arch. f. Ophth. XXI. S. 159.

1876. 82. Aubert, Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl. IX. S. 597 ff.

83. Hirschberg, Quantitative Analyse des Schielens und der Schieloperation. Beitr. z. prakt. Augenheilk. S. 46. Berlin.

1876. 84. Nicati, Über den Tropometer. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. VI, 15. S. 458.
85. Hock, Das Adduktionsperspektiv. Wiener med. Presse.
1878. 86. Charpentier, Nouveau procédé pour déterminer l'angle du strabisme. Ann. d'Ocul. LXXIX. S. 30.
1879. 87. Hering, E., in Hermann's Physiologie der Sinnesorgane. Physiol. Optik IV, 9. S. 445.
88. Daselbst. S. 452 u. 502.
89. Hering, E., in Hermann's Physiologie der Sinnesorgane. Physiol. Optik. IV, 6. S. 392 u. Arch. f. Ophth. XXXV, 4. S. 86.
90. Hering, E., Handbuch der Physiologie der Sinnesorgane. I. S. 444.
91. Daselbst. I. S. 357.
92. Hering, E., Physiol. Optik. IV, 9. S. 446; IV, 10. S. 478 u. Binokulares Sehen. S. 78.
1880. 93. Nagel, A., Mitteilungen aus der ophthalmiatrischen Klinik in Tübingen. Heft 1. S. 62.
94. Schweigger, Lehrbuch der Augenheilkunde. S. 155.
95. Landolt, E., Traité complet d'Opht. par de Wecker et Landolt. I. S. 915 ff.
96. Nagel, A., Refraktion und Akkommodation des Auges. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl. VI. S. 478.
1881. 97. Landolt, E., Etudes sur les mouvements des yeux à l'état normal et à l'état pathol. Kongr. d. med. Wissensch. London u. Arch. d'Opht. I. S. 586.
1882. 98. Charpentier, L'examen de la vision au point de vue de la médecine générale. Bibl. biol. internat. IV.
1883. 99. Landolt, E., Ophthalmodynamometer. Soc. franç. d'Opht. S. 25 u. 29; Arch. d'Opht. V. S. 97 u. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. 1885. S. 6 u. 16.
1884. 100. Berry, Ophth. Rev. III, 33. S. 163.
101. Patton, Ophth. Rev. III, 38. S. 360.
102. Ferri, Di un nuovo istromento per misurare l'insufficienza muscolare. Ann. di Ottalm. XIII. S. 129.
1885. 103. Landolt, E., Die Insufficienz des Konvergenzvermögens. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg u. Arch. d'Opht. V. S. 97.
104. Landolt, E., Refraction et Accommodation in Traité complet d'Opht. par de Wecker et Landolt. III. S. 468.
105. Landolt, E., L'amplitude de convergence. Arch. d'Opht. S. 109 u. The anomalies of the motor apparatus of the eyes in Norris and Oliver. Syst. of diseases of the eye. IV. S. 133. 1900.
106. Landolt, E., Traité complet d'Opht. par de Wecker et Landolt. III. S. 180.
107. Mauthner, L., Die Augenmuskellähmungen. Vorträge aus dem Gesamtgebiete der Augenheilkunde. XII u. XIII. Wiesbaden, Bergmann.
108. Stilling, J., Über die Entstehung des Schielens. Arch. f. Augenheilk. XV, 1. S. 73.
1886. 109. du Bois-Reymond, Über Schielmessung an der Hirschberg'schen Augenklinik. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Januar.
110. Graefe, A., Beiträge zur Kenntnis der bei Entwicklung und Hemmung strabotischer Ablenkungen wirksamen Einflüsse u. s. w. Arch. f. Ophth. XXXII, 2. S. 223.
111a. Landolt, E., The Refraction and Accommodation of the eye. Ed. Young-Pentland, Edinburgh. S. 408.
111b. Daselbst. S. 507.
1887. 112. Landolt, E., et Eperon, Anomalies des mouvements des yeux. Traité complet d'Opht. par de Wecker et Landolt. III. S. 156.

1887. 113a. Daselbst. S. 817.

113b. Daselbst. S. 925.

114. Dentz, L. F., Objectieve Strabismometrie. Acad. Proefschrift. Utrecht. April.

115. Jackson, E., The designation of prisms by the angular deviation they cause, instead of by the refracting angle. Internat. Kongr. d. med. Wissensch. Washington. S. 785.

1888. 116. Stevens, G., Phorometer and new slide with rotating prisms. Med. Rec. Mai 1888 u. Januar 1890.

117. Landolt, E., Rapport sur le strabisme. Bericht über d. 7. internat. ophth. Kongr. zu Heidelberg.

1889. 118. Graefe, A., Über die Einstellung der Augen bei Unterbrechung des binokularen Sehens. Arch. f. Ophth. XXXV, 1. S. 137.

119. Landolt, E., Antwort auf Prof. Dr. A. Graefe's Artikel: »Über die Einstellung der Augen bei Untersuchung des binokularen Sehens«. Arch. f. Ophth. XXXV, 3. S. 265.

120. Graefe, A., Noch einmal die Konvergenzfaktoren. Arch. f. Ophth. XXXV, 4. S. 333.

121. Jackson, The decentering of lenses for accurate prismatic effects: With tables for decentering, and of refracting angles. Amer. Ophth. Transact.

122. Maddox, E., Ophthalm. prisms. London.

1890. 123. Landolt, E., On the numbering of prismatic glasses used in ophthalmology. Arch. of Ophth. XIX, 4. — Die rationelle Numerierung der in der ophthalmologischen Praxis verwendeten Prismen. Arch. f. Augenheilk. XXII. S. 235; Arch. d'Opht. X. S. 401; 10. internat. Kongr. f. med. Wissensch. Berlin u. Internat. ophth. Kongr. Utrecht. 1899.

124. Prentice, A metric system of numbering and measuring prisms. Arch. of Ophth. XIX, 2 u. 3.

125. Dennett, W. S., Prismennumerierung. Transact. Amer. Ophth. Soc.

126. Maddox, E., A new test for heterophoria. Ophth. Rev. Mai.

126a. Landolt, E., Torticollis oculaire. Bull. méd. No. 50. Juni.

1891. 127. Landolt, E., Nouvelles recherches sur la physiologie des mouvements des yeux. Arch. d'Opht. XI. S. 385.

128. Holden. On the cylindrical equivalent of tilted lenses, the prismatic equivalent of decentred lenses and the employement of such lenses in practice. Arch. of Ophth. XX, 1.

129. Percival, The action of prismospheres and decentred lenses. Arch. of Ophth. XX, 2.

130. Percival, The action and uses of prismatic combinations. Ophth. Rev. Juli.

131. Prentice, The perfected prismometer, its practical advantages, construction, and various applications. New York.

132. Randall, »Prism-Dioptre« vs. Centrad in the reformed numeration of prisms. Med. News. April.

133. Risley, A new apparatus for detecting and measuring the anomalies of ocular muscles. Med. and Surg. Rep. 5. Dez.

1892. 134. Landolt, E., Le kinophtalmoscope. Soc. franç. d'Opht. S. 253.

135. Priestley Smith, The corneal reflex of the ophthalmoscope as a test of fixation etc. Ophth. Rev. S. 37.

136. Astengo, G., Rapporto dell' angolo collo strabismo. Ann. di Ottalm. S. 307.

137. Derby Hasket, Recent added facilities for the examination of the eye. Boston Med. and Surg. Journ. Juni.

138. Stevens, Geo. T., An examination of some of the means for the determination of heterophoria. Ophth. Rec. I, 7 u. 8.

1893. 139. Landolt, E., Un ophtalmotrope. Arch. d'Opht. XIII. S. 721 u. Transact of the Ophth. Soc. XIV.

140. Schwarz, O., Ein Instrument zur Messung der latenten Rollung. Bericht über d. 23. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 223.

141. Stevens, Phorometer. Ophth. Rec. Nashville. Tenn. Jan.-Febr.

142. Eaton, Strabismometer. Ann. of Ophth. and Otol. Kansas City.

143. Landolt, E., Les champs de fixation monoculaires, le champ de fixation binoculaire, la déviation secondaire et la fausse projection dans la paralysie des muscles oculaires. Arch. d'Opht. XIII. S. 257.

1894. 144. Herbert, J. F., An adjustable brachet with test lens holder used in testing anomalies of refraction and the various forms of heterophoria. Ophth. Rec. III, 9. S. 338.

1895. 145. Stevens, G., Le tropomètre. Ann. d'Ocul. Juli. S. 49 u. Norris and Oliver, System of diseases of the eye. II. S. 186. 1897.

1896. 146. Javal, Manuel du strabisme.

147a. Albrand, W., Eine Verbesserung des amerikanischen Stereoskopes zwecks Übung Schielender. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 180.

147b. Priestley Smith, The mechanism of binocular vision u. s. w. Brit. med. Journ. Juni.

1897. 148. Bielschowsky, A., Demonstration eines neuen Apparates zur Messung des Schielwinkels. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 263. Taf. XII.

149. Dennett, W. S., Prisms and Prismometry. Norris and Oliver, System of diseases of the eye. II. S. 141.

150. Landolt, E., L'étiologie du strabisme. Arch. d'Opht. XVII. S. 74.

151. Mulder, E., Rotation compensatrice de l'oeil en cas d'inclinaison de la tête. Arch. d'Opht. XVII. S. 465.

152a. Stevens, G., Phorometer. Norris and Oliver. System of diseases of the eye. II. S. 175.

152b. Daselbst. II. S. 177.

152c. Stevens, G., The clinoscope. Med. Rec. Febr.

153. Sachs, M., Über das Sehen der Schielenden. Arch. f. Ophth. XLIII S. 597.

154. Schnabel, J., Über zwei Fälle von Strabismus. Wiener klin. Wochenschrift. S. 1025.

1898. 155. Priestley Smith, The etiologie and educative treatment of convergent strabismus. Brit. med. Journ. Juli u. Bar-reading. Brit. med. Journ. S. 5.

156. Derby, H., A modification of the stereoscope. New York Eye and Ear Infirmary Rep. Jan.

157. v. Zehender, W., Ein Goniometer zur exakten Bestimmung des Schielwinkels. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.

158. Bielschowsky, A., Über monokulare Diplopie und das Sehen Schielender. Arch. f. Ophth. XLVI, 1. S. 143.

159. Brewer, E. P., A torsiometer. Ophth. Rec. Mai.

160. Landolt, E., La détermination de la projection, ou localisation de l'oeil. Arch. d'Opht. XVIII. S. 273.

161a. Maddox, E., Circumlental photography. The Practitioner. April.

161b. Maddox, E., Tests and Studies of the ocular muscles. Bristol, John Wright & Co.

162. Wundt, W., Zur Theorie der räumlichen Gesichtswahrnehmungen. Philos. Studien. XIV. S. 1.

163. Landolt, E., Synopsis of the movements of the eyes and their anomalies Curry a Paxton, opticians. London u. Tableau synoptique des mouvements des yeux et de leurs anomalies. Pirou, Paris.

164. Stevens, G., Some new methods of examination of the positions of the vertical meridians of the retina. Ophth. Rec. Mai.

1899. 165. Landolt, E. Un nouveau stéréoscope destiné au rétablissement de la vision binoculaire. Internat. ophth. Kongr. Utrecht u. Arch. d'Opht. XIX. S. 689.

166. Hering, E., Über die anomale Lokalisation der Netzhautbilder bei Strabismus alternans. Arch. f. klin. Med. LXIV. S. 15.

167. Gaudenzi, C., Di un doppio perimetro per gli esami della funzione binoculare etc. Ann. di Ottalm. XXVIII.

168. Sachs, M., Über das Alternieren der Schielenden. Arch. f. Ophth. XLVIII, 2. S. 443.

169. Tschermak, A., Über anomale Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden. Arch. f. Ophth. XLVII, 3. S. 508.

1900. 170a. Landolt, E., The anomalies of the motor apparatus of the eyes. Norris and Oliver, System of diseases of the eye. IV. S. 9 u. 10.

170b. Daselbst. IV. S. 13.

170c. Daselbst. IV. S. 15 u. 16.

170d. Daselbst. IV. S. 34, 35, 36ff.

170e. Daselbst. IV. S. 41.

170f. Daselbst. IV. S. 96.

170g. Daselbst. IV. S. 143.

170h. Daselbst. IV. S. 149.

171. Daselbst. IV. S. 46.

172. Hofmann und Bielschowsky, Die Verwertung der Kopfneigung zur Diagnostik von Augenmuskellähmungen aus der Heber- und Senkergruppe. Arch. f. Ophth. L, 1. S. 174.

173. Bielschowsky, A., Untersuchungen über das Sehen der Schielenden. Arch. f. Ophth. L, 2. S. 406 u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Beilageheft. S. 406.

174. Hofmann und Bielschowsky, Über die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen. Pflüger's Arch. f. Physiol. LXXX. S. 1.

175. Tschermak, A., Über physiologische und pathologische Anpassung des Auges. Leipzig, Veit & Comp.

1901. 176. Schlodtmann, W., Studien über anomale Sehrichtungsgemeinschaft bei Schielenden. Arch. f. Ophth. LI. S. 256.

177. Remy, A., Applications du diploscope au diagnostic et au traitement des altérations de la vision binoculaire. La Clin. gén. de Chir. Dez.

178. Ginestous, E., Un oftalmo dinamometro. Arch. de Oftalm. S. 525.

179. Hess, Akkommodation und Konvergenz. Arch. f. Ophth. LII. S. 143.

1902. 180. Ramon. Cajal, Recreaciones estereoscópicas y binoculares. Arch. de Oftalm. Hisp.-Amer. S. 262.

181. Verhoeff, F., A theory of binocular perspective, and some remarks upon torsion of the eyes, the theory of the relation of convergence to the perception of relief and distance. Ann. of Ophth. XI.

182. Brückner, A., Die Anfangsgeschwindigkeit der Augenbewegungen. Arch. f. d. ges. Physiol. XC. S. 73.

183. Czermak, W., Ein Instrument zur objektiven Messung latenter Ablenkungen. Naturforschervers. Karlsbad. Abt. f. Augenheilk. S. 372.

184. Hofmann, F. B., Die neueren Untersuchungen über das Sehen der Schielenden. Ergebnisse d. Physiol. 1. Jahrg. S. 801.

185. Holth, S., Kinescopie. Ann. d'Ocul. CXXVII.

186. Maddox, E., Die Motilitätsstörungen des Auges u. s. w. Deutsch bearb. v. W. Asher. Leipzig, Böhme.

187. Bielschowsky, Das klinische Bild der associierten Blicklähmung und seine Bedeutung für die topische Diagnostik. Münchener med. Wochenschrift. No. 39.

Anhang.

Semiologie der Pupillarbewegung.

Von

Dr. E. Heddaeus

in Essen.

Eingegangen im Oktober 1903.

I. Vorbemerkungen.

§ 1. Die Pupille[1]) — bekanntlich ein Nichts, ein Loch in der Regenbogenhaut — ist uns ein Wahrzeichen, *σημεῖον*, welches uns Kunde giebt (oder geben soll, dicitur) von gewissen Vorgängen im Auge und im übrigen Körper, in erster Reihe aber von Veränderungen im Bereich derjenigen Nerven, welche die Pupillenweite direkt oder indirekt beeinflussen. Es sind das der Oculomotorius, der Sympathicus und der Opticus. Jene beiden sind centrifugal, motorisch, der Opticus ist centripetal, sensibel. Der Oculomotorius verengt, der Sympathicus erweitert die Pupille; der Opticus verengert sie auch, aber nicht direkt, sondern nur auf reflektorischem Wege, unter Vermittelung des Oculomotorius. Die Pupillenstörungen gehören also nur zum Teil — soweit sie vom Oculomotorius und Sympathicus abhängen — zu den Motilitätsstörungen des Auges.

a) Störungen im Bereich der centrifugalen Pupillenbahnen oder kurz: centrifugale Pupillenstörungen.

Zum anderen Teil sind sie einzureihen unter die Funktionsstörungen des Auges (im engeren Sinne):

b) Störungen im Bereich der centripetalen Pupillenbahnen oder kurz: centripetale Pupillenstörungen.

---

1) Synonyma: Diaphragma iridis, Sehloch, Augenstern, Kindchen, griechisch *κόρη*, wovon Isokorie, lateinisch pupula oder pupilla. Näheres hierüber sowie über die Ableitung von Mydriasis, Miosis u. a. siehe bei Hirschberg, dieses Handbuch, Bd. XII Kap. XXIII.

Die ersteren sind häufig von anderen Störungen der Beweglichkeit im Bereich der betreffenden Nerven begleitet; die letzteren pflegen neben Störungen des Sehvermögens und ophthalmoskopisch sichtbaren Veränderungen des Augenhintergrundes, speziell der Sehnervenpapille, einherzugehen.

Diese Scheidung — in centrifugale und centripetale Pupillenstörungen — muss zunächst einmal streng durchgeführt werden, soll in das bisher ziemlich zerfahrene Gebiet der Pupillenstörungen Klarheit und Übersichtlichkeit kommen. Außerdem ist eine genaue Prüfung der übrigen Funktionen des Auges (Sehschärfe, Refraktion und Akkommodation des einzelnen Auges, Binokularsehen) unerlässliche Vorbedingung zum Verständnis der Pupillenstörungen.

Von den Oculomotorius- und Sympathicusaffektionen sowie von der Differentialdiagnose zwischen beiden wird in anderen Teilen dieses Lehrbuches ausführlich gehandelt; der Schwerpunkt unserer Arbeit wird also auf die centripetalen Pupillenstörungen und auf die Unterscheidung zwischen ihnen und den centrifugalen Störungen zu legen sein.

§ 2. Der Wert der Pupillenprüfung wird vielfach überschätzt. Was wir durch sie bezüglich der Funktion des Auges erfahren, ist verschwindend wenig im Vergleich zu dem, was wir durch den Augenspiegel, durch die Untersuchung der centralen und excentrischen Sehschärfe, des Farben- und Lichtsinns ermitteln. Unentbehrlich und ausschlaggebend ist die Pupillenprüfung nur da, wo einerseits die Ophthalmoskopie — die andere objektive Untersuchungsmethode — versagt, (wegen Medientrübung oder bei retrobulbären Affektionen,) andererseits die subjektiven Prüfungen wegen Unzuverlässigkeit oder Unzurechnungsfähigkeit des Patienten nicht zum Ziele führen; außerdem vielleicht (?) zur Unterscheidung der basalen von der kortikalen Hemianopie. Somit haben die meisten centripetalen Pupillenstörungen ein vorwiegend theoretisches Interesse.

Und die centrifugalen Pupillenstörungen — deren augenfälligste die Pupillenungleichheit ist — entpuppen sich bei näherem Zusehen mehr und mehr als einfache Motilitätsstörungen im Bereich des Oculomotorius (und Sympathicus), welchen keine weitere Bedeutung zukommt, als den sonstigen Reiz- und Lähmungserscheinungen im Gebiet der betreffenden Nerven.

Wer mehr aus den Pupillen herauslesen will, wer hofft, die speziellen Diagnosen von Krankheiten darin geschrieben zu finden, der wird sich in seinen Erwartungen getäuscht sehen. Nur eins scheint festzustehen: dass die erworbene oder von den Voreltern ererbte) Syphilis, wie an der Ophthalmoplegia interna Alexander), so auch an vielen anderen Pupillenstörungen sehr oft schuld ist. So lässt sich auch auf diesem kleinen Gebiete zeigen, welch ein Segen es für die Menschheit wäre, wenn die Syphilis aus der Welt geschafft würde.

§ 3. Die Weite der Pupille wechselt, bald schnell, zusehends, wie unter dem Einfluss des Lichtes (Pupillen- oder richtiger Irisbewegung), bald langsam, unmerklich, wie unter der Einwirkung der Mydriatica (Atropin, Kokain u. a.) und Miotica (Eserin, Pilokarpin u. a.). Unter Mydriasis verstehen wir den Zustand krankhafter Erweiterung, unter Miosis den Zustand krankhafter Verengerung der Pupillen.

Zu diagnostischen Zwecken brauchbar sind von den Pupillenbewegungen (-reaktionen) nur diejenigen, welche bei dem Gesunden jederzeit nachweisbar sind. Es sind das:

1. Die Lichtreaktion oder der Lichtreflex der Pupillen.

2. Die akkommodative oder Konvergenzreaktion der Pupillen.

Zu den normalen Pupillenbewegungen gehören auch die von Alters her unter dem Namen »Pupillenspiel« bekannten, neuerdings weniger bezeichnend »Pupillenunruhe« benannten Oscillationen, die nichts weiter sind als Bewegungen unter dem Einfluss des Lichtes, also Lichtreaktion (vgl. § 34).

Was sonst von »Pupillarreaktionen« und »-reflexen« beschrieben wird, ist nicht konstant genug, um diagnostisch verwertet zu werden; abgesehen davon, dass es von den meisten dieser »Reflexe« mehr als zweifelhaft ist, ob sie als eigene, selbständige Bewegungen oder nur als Kuriosa aufzufassen sind, oder ob sie nur Abarten der altbekannten Reaktionen (auf Licht und Konvergenz) darstellen.

Eine »reflektorische Erweiterung der Pupillen« (Nachlass der akkommodativen Verengerung?), auch Schmerzreaktion oder — vorgreifend — sympathische Reaktion geheißen, wird bisweilen beobachtet bei taktilen und thermischen Reizungen der Haut, auch der Augapfelbindehaut und der Hornhaut, bei heftigen Schmerzen (Wehen), bei psychischen Erregungen, Schreck, Staunen u. dgl., beim Weinen (Minerbi), bei tiefer Inspiration (daher die Schwankungen der Pupillenweite beim Cheyne-Stokes'schen Atmen; vgl. dazu Thiemich 97), bei Vorstellung eines dunklen Raumes oder Gegenstandes (Piltz 102). Auch die »willkürliche Pupillarreaktion« (Budge 2, v. Bechterew 70, Bach 121) gehört wohl hierher.

Eine Verengerung der Pupillen wird beobachtet beim Haab'schen Hirnrindenreflex (s. § 42), beim Kauen (Marina 127), beim festen Schließen der Augenlider (Lidschlussreaktion (vgl. § 58, 9), nicht zu verwechseln mit dem Lid- oder Blinzel- Reflex), d. i. dem nach Blendung der Netzhaut eintretenden Lidschluss).

Als paradoxe oder perverse Lichtreaktion[1]) wird es bezeichnet, wenn

1) Nicht zu verwechseln mit der »paradoxen Pupillenerweiterung«, welche Langendorff 113 u. a. an Tieren, denen das obere sympathische Halsganglion exstirpiert war, im Anschluss an die zunächst eintretende (paralytische) Pupillenverengerung beobachteten. Vgl. dazu Lodato, Ref. Centralbl. f. Augenheilk. 1902. S. 451.

eine Pupille sich auf Erregung des Opticus durch Licht erweitert statt verengert[1]. Es ist nicht anzunehmen, dass durch ein und dieselbe Kraft eine entgegengesetzte Wirkung erzielt wird, vielmehr wahrscheinlich, dass, wie auch FRENKEL (78) hervorhebt, der »paradoxen PR« immer Beobachtungsfehler zu Grunde liegen: meist wohl der, dass die anfängliche kurze Zusammenziehung der Pupille über der langsameren sekundären Erweiterung übersehen wird. Auch die Lidschlussreaktion imponierte anfangs als »paradoxe Lichtreaktion«. Eine mit einer Divergenzbewegung des Bulbus einhergehende Pupillenerweiterung soll nach FRENKEL, eine durch die Wärme der Beleuchtungsquelle hervorgerufene »sympathische« Erweiterung soll nach PILTZ oft Anlass zu Tauschungen geben. Vielleicht wird die »paradoxe Lichtreaktion« auch schon seltener werden, wenn man allgemein die Beweglichkeit der Pupillen durch wechselndes Verdunkeln und Erhellen beider Augen prüfen wird (vgl. § 37).

Auch eine paradoxe Konvergenzreaktion ist beschrieben (VYSIN 85). Das erinnert an die Hunde, deren Pupillen beim Weitsehen eng, beim Nahesehen weit werden sollen (HIRSCHBERG).

Die hemiopische oder hemianopische PR ist keine besondere Art von Pupillenbewegung, sondern nur ein Ausfallsymptom und wird an anderer Stelle besprochen (§ 16 und 41—43).

§ 4. Die Reaktion der Pupille auf Licht ist ein dem Bewusstsein vollständig entzogener, rein reflektorischer Vorgang, ein wahrer Reflex, der ohne jedes Zuthun der Großhirnrinde, nur durch Vermittelung des Mittelhirns zu stande kommt.

Die Verengerung beim Nahesehen ist kein Reflex, auch keine Willkürbewegung, sondern nur eine Mitbewegung oder synergische Bewegung, eine regelmäßige Begleiterin von willkürlichen (Konvergenz- und akkommodativen) Bewegungen, von der es noch streitig ist, ob sie mit dem einen oder mit dem anderen Vorgang näher zusammenhängt. Nach VERVOORT (108) soll sie nur durch die Konvergenz, nicht durch die Akkommodation ausgelöst werden. Damit würde übereinstimmen, dass sie bei hochgradiger Kurzsichtigkeit noch eintritt, wenn jenseits der physiologischen Akkommodationsbreite konvergiert wird (RAEHLMANN 9); dass sie fehlt oder mangelhaft ist bei der (kortikal bedingten) Konvergenzlähmung u. a. Im folgenden ist die Bewegung bald als akkommodative, bald als Konvergenzreaktion bezeichnet, was also hinsichtlich ihrer Entstehung nichts präjudizieren soll.

Zur Lichtreaktion ist noch zu bemerken:

Wenn Licht in ein Auge geschickt wird, verengt sich nicht nur die Pupille dieses Auges (direkte PR), sondern auch die des anderen Auges (konsensuelle PR), und zwar gleichzeitig und gleichmäßig mit jener.

Alle Synonyma kollaterale, gleichseitige, primare statt direkte, kontralaterale, ungleichseitige, sekundare, indirekte, sympathische, synergische statt

[1]) Ausführliche Zusammenstellung der Litteratur siehe bei PILTZ (139).

konsensuelle) sind entbehrlich, zum Teil auch missverständlich, und werden besser vermieden; die eine Bewegung im Gegensatz zur anderen reflektorisch zu nennen, ist natürlich falsch, denn reflektorisch kommen beide zu stande.

Durch die konsensuelle Erweiterung einer Pupille, welche eintritt, wenn wir behufs Prüfung der centralen Sehschärfe das andere Auge durch die hohle Hand verdecken lassen, kann einmal — bei centralen Hornhaut- und Linsentrübungen — das Ergebnis der Sehprüfung modifiziert werden, eventuell zu Ungunsten eines Unfallverletzten. Es empfiehlt sich also, zur Kontrolle die deckende Hand durch eine matte Glasplatte zu ersetzen.

§ 5. Unter mittlerer Weite einer Pupille oder Weite kurzweg verstehen wir die Weite, während beide Augen bei Akkommodationsruhe dem Einfluss des diffusen, nicht blendenden Tageslichtes ausgesetzt sind.

Will man die Pupillen messen, so stehen außer der mittleren Weite (Weite c) noch folgende Weiten mit relativer Ruhe zur Verfügung:

b = Weite einer Pupille bei Tageslicht und vollständigem Verschluss des zweiten Auges (O. Schirmer's »physiologische Pupillenweite«).

a = Weite einer Pupille im absolut finsteren Raum (nur mit Hilfe der Blitzlichtphotographie messbar. In Ermangelung davon misst man:)

a_1 = Weite einer Pupille bei minimaler, d. h. eben noch zum Erkennen der Pupillengrenzen ausreichender Beleuchtung des einen und festem Verschluss des anderen Auges, oder:

a_2 = Weite einer Pupille bei minimaler Beleuchtung beider Augen.

Die genannten Werte bedeuten die betreffende Pupillenweite nach Gewöhnung (Adaptation) an die jeweils herrschende Beleuchtung und bei ruhigem Blick in die Ferne. Soll letzteres ausdrücklich betont werden, so fügt man ein r, ist bei Einstellung für die Nähe gemessen, so fügt man ein p dem betreffenden Buchstaben zu. A_2r oder a_2 kurzweg ist also die Weite einer Pupille bei minimaler Beleuchtung beider Augen und Akkommodationsruhe, a_2p die Weite bei derselben Beleuchtung und angespannter Akkommodation u. s. w.

Im allgemeinen ist der Wert der Messung von Pupillen, und zumal von frei beweglichen Pupillen, ein bescheidener, eben wegen der Veränderlichkeit des zu messenden Objektes. Soll doch sogar — nach Levinsohn und Arndt (125) — die Weite einer »absolut starren« Pupille von einem Tag zum anderen um 1 und $1^1/_2$ mm schwanken. Am konstantesten dürfte — bei wiederholten Messungen einer Pupille — die Weite a gefunden werden. Cohn (30) fand sie = 8,9 mm bei 20jährigen Emmetropen, = 6 mm bei Personen in den vierziger Jahren. Die »physiologische Pupillenweite«, d. i. die Weite b bei maximal adaptiertem Auge, soll nach O. Schirmer (66) bei Tageshelligkeiten von 100 bis 1100 Meterkerzen sich gleich bleiben. Ob bei solch anhaltendem Adaptieren nicht eine Ermüdung der Netzhaut eintritt? Die Messung von ungleich weiten und dabei beweglichen Pupillen hat nur dann Wert, wenn das Bild beider Pupillen in demselben Augenblick fixiert wird, also wiederum durch die Momentphotographie (vgl. § 38).

Das vollkommenste Messinstrument zu wissenschaftlichen Untersuchungen ist wohl Bellarminoff's (23) Photokoreograph, der nicht nur die Pupillenweite, sondern auch den zeitlichen Ablauf der Pupillenbewegung bildlich darzustellen gestattet. Freilich erfordert er gute Beleuchtung. Er wurde auch von Braunstein (58) benutzt.

Die einfachste und für unsere praktischen Bedürfnisse vollkommen ausreichende Methode, dabei ungefährlich im Vergleich zum Anlegen eines Zirkels, ist die von Follin und Haab (vgl. dessen ophthalmoskopischen Atlas, letzte Figur): Vergleich der Pupille mit einer Skala von schwarzen Scheiben, die neben das Auge gehalten wird. Vielleicht ließe sich die Beurteilung der Größe der Pupille noch erleichtern durch eine Einrichtung, welche es ermöglicht, die schwarzen Scheiben konzentrisch in einer heller gefärbten Scheibe von der Größe der (sichtbaren) Iris erscheinen zu lassen. Vor das Auge gehaltene Glasscheiben mit einer Skala von eingeritzten Ringen von 1—9 mm Durchmesser (Follin, Schmidt-Rimpler) sind weniger praktisch, weil sie doch etwas Licht vom Auge abblenden und weil die Ringe, wegen kleiner Bewegungen des Augapfels, oft schwer mit der Pupille zur Deckung zu bringen sind. Es lag dann nahe, die Größe der Pupille direkt durch Anlegen eines Messinstrumentes zu bestimmen, sei es eines Maßstabes, sei es eines eigens zu dem Zweck erfundenen Pupillometers (Laurence, Galezowski, Weiss). Coccius vergrößerte mittelst einer in ein Kästchen eingeschlossenen Lupe die Pupille und gleichzeitig das durch ein Spiegelchen reflektierte Bild eines Maßstabes. Schadow (15) benutzte ein Fernrohr, in welchem eine Milimeterskala eingeschlossen war. Ein ähnliches Instrument demonstrierte — nach Schadow, S. 186 — Doyer 1879 auf dem internationalen medizinischen Kongress in Amsterdam. Die meisten der genannten Apparate ergeben darum minderwertige Resultate, weil bei ihrer Anwendung das zu untersuchende Auge verdunkelt wird. Andere wieder, wie das von Schadow, erfordern eine zu intensive Beleuchtung, als dass mit ihrer Hilfe die Pupillenbewegung unter dem Einfluss des Lichtes studiert werden konnte. Um den Missstand, dass die zu messende Pupille durch den Untersucher und sein Instrument beschattet wird, abzustellen, konstruierten Landolt und Schirmer Pupillometer, welche eine Beobachtung des Patienten von der Seite her gestatten. Das Landolt'sche (7) ist eine vereinfachte Modifikation des Ophthalmometers desselben Autors, welch letzteres übrigens ebenfalls, ebenso wie das von Helmholtz, zu Pupillenmessungen verwendet werden kann (vgl. auch Drouin 6). Schirmer's (66) Instrument besteht in der Hauptsache aus einem dreiseitigen Prisma, in dessen einer zu einem Spiegel umgewandelten Seite sich erstens die zu messende Pupille, zweitens ein Millimeterstab spiegelt.

Alle die genannten Apparate, von den einfachsten bis zu den kompliziertesten, — und die Reihe der angegebenen Pupillometer ist damit bei weitem noch nicht erschöpft — haben den einen großen Nachteil, dass mit ihrer Hilfe immer nur eine Pupille untersucht werden kann. Sie sind also anwendbar erstens bei Isokorie, oder zweitens bei Anisokorie mit Starre der einen oder beider Pupillen, dagegen versagen sie gerade da, wo man ihrer am meisten bedarf, nämlich in den diagnostisch schwierigen Fällen von ungleich weiten und dabei beweglichen Pupillen (Anisokorie ohne Pupillenstarre). Hier tritt die Photographie in ihr Recht, die zugleich den großen Vorzug besitzt, dass man mit ihrer Hilfe auch die Weite der Pupillen im Dunkeln feststellen kann, um sich auf diese Weise ein Bild von der Ausgiebigkeit der Pupillenbewegung zu verschaffen (vgl. dazu Gerh. Schaefer 103).

Dass wir bei allen Messungen nicht die wirkliche Größe, sondern das durch die Hornhaut vergrößerte Bild der Pupille messen, ist, wie oft betont, von keiner praktischen Bedeutung, weil es sich immer um vergleichende Messungen handelt.

§ 6. Da wir behufs Prüfung der Lichtreaktion zweckmäßig erst beschatten, dann erhellen, behufs Prüfung der Konvergenzreaktion erst weit,

dann nahe sehen lassen, nicht umgekehrt, so unterscheiden wir bei jeder Reaktion erstens die Ausgangsweite, zweitens die Minimalweite, drittens die endgültige Weite.

Aus der Ausgangsweite geht die Pupille nach Einwirkung der verengernden Kraft direkt in die Minimalweite über (primäre Verengerung), macht dann einen energischen Rückschlag (die sekundäre Erweiterung), um dann in die bekannten Oscillationen auszuklingen und so die endgültige Weite zu erreichen. Der Grad der PR, wie wir sie schätzen, wird ausgedrückt durch das Verhältnis der Ausgangsweite zur Minimalweite, der Grad der gemessenen Reaktion durch das Verhältnis der Ausgangsweite zur endgültigen Weite $\left(\frac{a}{c}\right.$ oder $\frac{a_2}{c}$ oder eventuell $\frac{a_2 r}{a_2 p}$ oder $\left.\frac{c r}{c p}\right)$. Letzteres kann einmal = 1, PR also scheinbar = 0 sein, während ersteres größer als 1, PR also thatsächlich noch vorhanden ist. Das Stadium der Minimalweite läuft zu rasch ab, um mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln gemessen zu werden. Andererseits kann es vorkommen, besonders bei schwer beweglichen Pupillen, dass die primäre Verengerung sehr rasch und kurz erfolgt und über der sich unmittelbar anschließenden sekundären Erweiterung übersehen wird. So mag mitunter der Eindruck einer paradoxen (oder »perversen«) PR entstehen.

§ 7. Die Pupillen des gesunden Menschen sind g l e i c h weit: weder bei guter noch bei schwacher Beleuchtung beider Augen, weder beim Blick in die Ferne noch beim Nahesehen tritt ein Unterschied in der Weite beider hervor. Es besteht Isokorie. Auch bei greller Beleuchtung eines und gleichzeitiger Verdunkelung des anderen Auges bleiben beide Pupillen gleich weit.

Die Gleichheit durch die Messung bestätigen zu wollen, hat keinen Zweck. Differenzen von 0,2 mm und weniger lassen sich mit bloßem Auge als solche erkennen. Man misst daher bei Isokorie a_1, a_2 und c immer nur an e i n e m Auge und setzt den gefundenen Wert für beide Augen ein. Bei Pupillenungleichheit (Anisokorie) müssen selbstverständlich beide Pupillen gemessen werden, wie schon erwähnt (§ 5).

Nach einigen Autoren (Elschnig 77, Bach 110, A. Pick 115) soll bei manchen Personen mit lebhaft reagierenden Pupillen, Neurasthenikern u. dgl., doch öfters bei verschiedener Beleuchtung beider Augen ein Unterschied in der Weite beider Pupillen zu sehen sein, derart, dass die jeweils beschattete Pupille weiter sei als die belichtete, so dass also bei ein und derselben Person bald die eine, bald die andere Pupille die größere wäre. Diese Angabe steht so sehr in Widerspruch mit der allgemeinen Erfahrung und gewissen pathologischen Thatsachen (vgl. § 19), dass es sich jedenfalls um ein ausnahmsweises Vorkommen, vielleicht auch in einzelnen Fällen um eine Täuschung (Einbeziehen des schwarzen Irissaumes zur Pupille?) handelt. Als Norm kann festgehalten werden, dass die gleich weiten Pupillen eines Gesunden auch bei ungleichmäßiger Beleuchtung beider Augen gleich weit bleiben. Übrigens stimmen wir trotzdem Pick zu, wenn er rät, eine pathologische Pupillendifferenz nur dann zu diagnostizieren, wenn bei gleichmäßiger Beleuchtung beider Augen ein Unterschied zu bemerken ist.

§ 8. Die Mydriatica und Miotica verändern die Weite der Pupille und hemmen mehr oder weniger ihre Beweglichkeit durch Einwirkung auf die centrifugalen Pupillenfasern, und zwar speziell auf deren Endigungen in der Irismuskulatur.

Atropin lähmt die intraokularen Zweige des Oculomotorius, nämlich erstens die für den M. sphincter pupillae, zweitens die für den M. ciliaris; es macht die Pupille maximal weit und vollständig unbeweglich und hebt das Akkommodationsvermögen auf. Es soll außerdem den Sympathicus reizen; man schließt das — ob ganz mit Recht, bleibe dahingestellt — aus seiner Fähigkeit, hintere Synechien zu zerreißen und eine durch Oculomotoriusparalyse erweiterte Pupille noch weiter zu machen. Dem Atropin ähnlich wirken Duboisin, Hyoscin, Skopolamin u. a.

Eserin ist der Antagonist des Atropins. Es reizt die Endigungen des N. oculomotorius in dem Sphincter pupillae und dem Ciliarmuskel, verengt die Pupille bis zu Stecknadelkopfgröße, ohne indes ihre Beweglichkeit vollständig aufzuheben, und bewirkt Akkommodationskrampf. Ähnlich, nur schwächer als Eserin, wirkt Pilokarpin.

Kokain erweitert die Pupille nur mäßig und beschränkt ihre Beweglichkeit wenig, die Akkommodation beeinflusst es nicht nennenswert. Es soll den Sympathicus reizen und dadurch einerseits den M. dilatator pupillae, andererseits die Gefäßmuskeln der Iris zur Zusammenziehung anregen. Die durch Atropin erweiterte Pupille wird durch Kokain noch weiter, was in gewissem Grade gegen die sympathicusreizende Wirkung des Atropins spricht. Die gebräuchlicheren Ersatzmittel des Kokains, Tropakokain, Holokain u. a., verändern die Pupille nicht (vgl. H. Schultz 104).

II. Die Pupillenbahnen.

§ 9. Der Verlauf der die Pupillenweite bestimmenden Nervenfasern bei dem gesunden Menschen ist noch nicht in allen Einzelheiten bekannt. Daher steht die Semiologie der Pupillarbewegung noch nicht auf ganz festen Füßen und werden wir durch genaue und zielbewusste Prüfung der Pupillensymptome — teils für sich allein, teils in Verbindung mit der anatomischen Untersuchung (und dem Tierexperiment) — noch einiges zur näheren Feststellung des Verlaufes der Pupillenfasern oder »Pupillarreflexfasern« (Liebrecht 93) beitragen können.

Ob der Versuch am lebenden Tier sehr geeignet ist, unsere Kenntnisse von dem Verlauf der Pupillenfasern zu fördern, darf wohl mit Fug und Recht bezweifelt werden, wenn wir bedenken, wie schwer es oft schon bei unruhigen Menschen wird, über die Qualität und Quantität von Pupillenbewegungen ins Klare zu kommen.

§ 10. Die Bahn für die Lichtreaktion setzt sich zusammen aus einem centripetalen Teil, den centripetalen Pupillenfasern mit ihren Anfängen in der Netzhaut, einem centrifugalen Teil, dem Ramus iridis nervi oculomotorii (vgl. § 21) mit seinen Endigungen in dem M. sphincter pupillae, und dem beide verbindenden Reflexcentrum, welches aller Wahrscheinlichkeit nach identisch ist mit dem Pupillen- oder Sphinkterkern des N. oculomotorius.

Die Bahn für die Konvergenzreaktion beginnt in dem kortikalen Konvergenzcentrum und besteht aus den Verbindungsfasern zwischen diesem und dem Sphinkterkern, letzterem selbst und dem Pupillenzweig des N. oculomotorius mit seinen Endigungen in dem M. sphincter pupillae.

Pupillenverengerung ist — im allgemeinen — gleichbedeutend mit Kontraktion des M. sphincter pupillae durch Reizung des N. oculomotorius. Durch welche Kraft die also verengte Pupille wieder weiter wird, steht weniger fest. Als Antagonist des Sphincter pupillae gilt der dem N. sympathicus gehorchende Musculus dilatator pupillae, dessen Existenz als solcher durch die neuesten Untersuchungen (Grunert 91) zwar sicher gestellt scheint, dessen physiologische Befähigung aber noch angezweifelt wird. Baas (76) möchte ihn zu den rudimentären Organen werfen. Außer von diesem Muskelpaar ist die Weite der Pupillen jedenfalls abhängig von der Füllung der Irisgefäße, welche ihrerseits mit und hauptsächlich durch den inneren Augendruck bestimmt wird. Viele bekannte Erscheinungen weisen darauf hin.

Nach Eröffnung der vorderen Augenkammer verengt sich die Pupille, auch wenn sie vorher durch Atropin erweitert war[1]. Selbst nach dem Tode tritt auf Paracentese der Hornhaut diese Pupillenverengerung ein (Schmidt-Rimpler). Bei mangelndem Augendruck, so auch bei Atrophia bulbi u. dgl., ist die Pupille eng und erweitert sich nicht oder unvollständig bei Beschattung und nach Kokain- und Atropineinträufelungen. Umgekehrt ist die Pupille eines Auges mit erhöhtem Druck weit und nur geringer Verengerung fähig. Mitunter sieht man nach regelrecht ausgeführter Iridektomie, also trotz Excision des Sphincter pupillae, die Kolobomschenkel zusammenschießen; und zwar tritt dieses Ereignis nicht unmittelbar, sondern erst 1 oder 2 Sekunden nach vollbrachter Iridektomie ein (vielleicht gleichzeitig mit einem Pulsschlag?). Alle diese Thatsachen sind geeignet, den Einfluss des inneren Augendruckes und der von ihm mit regulierten Füllung der Irisgefäße auf die Pupillenweite (des lebenden Menschen) zu illustrieren (vgl. übrigens Heine 134).

Diesen Verhältnissen ist Rechnung zu tragen, auch eine etwaige aktive Hyperämie der Iris ist zu berücksichtigen, bevor wir aus dem Verhalten der Pupillen Schlüsse auf die sie versorgenden Nerven ziehen.

1) Man könnte daraus die Berechtigung ableiten, bei der Operation reifer Altersstare die Linse vor dem Hornhautschnitt zu disscindieren, wie es seitens indischer Ärzte geschieht. Vgl. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1901. S. 421.

Die Rolle, welche der M. dilatator iridis und der N. sympathicus bei der Pupillenerweiterung spielen, bedarf noch weiterer Aufklärung. Es giebt zu denken, dass der Sympathicus gelahmt sein kann, ohne dass die Beweglichkeit der Pupille nachweisbar gelitten hat, während ohne den inneren Augendruck ein geregeltes Pupillenspiel nicht möglich ist. Die Pupillenerweiterung, welche man bisweilen, nicht immer, auf schmerzhafte Reizungen der sensiblen Körpernerven — der angeblichen zuführenden Bahnen des Sympathicus — eintreten sieht, kann auch auf einem unwillkürlichen (lähmungsartigen?) Nachlass der pupillenverengernden Kräfte beruhen, eine Anschauung, welche sich in neuerer Zeit mehr und mehr Bahn zu brechen scheint. Daneben mag eine durch Sympathicusreizung bedingte Kontraktion der Irisgefäße einhergehen; in diesem Fall hatte die Erweiterung der Pupille auf psychische und sensible Reize die gleiche Bedeutung wie das Erbleichen durch die Kontraktion der Haut- und der Ohnmachtsanfall durch Kontraktion der Hirngefäße. Ein M. dilatator pupillae wäre zur Erklärung nicht notwendig.

Unter centripetalen Pupillenfasern (kurzweg) sind im folgenden immer die im N. opticus enthaltenen Fasern verstanden, welchen es obliegt, einen die Netzhaut treffenden Lichtreiz nach dem Oculomotoriuscentrum zu befördern. Nervenfasern mit dieser Funktion müssen im Sehnerven vorhanden sein; das beweist die Thatsache, dass der normale Lichtreflex der Pupillen (die RE) bei atrophischem Sehnerven fehlt.

1. Die centripetalen Pupillenfasern.

§ 11. Funktion der centripetalen Pupillenfasern. Den Sehfasern verdankt das Auge seine (subjektive) Lichtempfindlichkeit, den centripetalen Pupillenfasern verdankt es ebenfalls eine Empfindlichkeit gegen Licht, aber eine Empfindlichkeit, auf deren Dasein wir nur objektiv, aus dem Lichtreflex der Pupillen, zurückzuschließen berechtigt sind; also, wenn man so sagen darf, eine objektive Lichtempfindlichkeit oder — wie ich diese Eigenschaft, für die es uns bisher an einem Wort mangelte, zu bezeichnen vorgeschlagen habe (1886) — seine Reflexempfindlichkeit (RE. Gegensatz Reflexunempfindlichkeit oder Reflextaubheit).

Man kann auch definieren: »RE ist die Fähigkeit eines Auges, einen Lichtreiz dem Oculomotoriuscentrum zuzuleiten«, oder »RE ist die Funktion der centripetalen Pupillenfasern«. Beide Definitionen decken sich aber nicht genau mit der im Text gegebenen: Durch Medientrübung wird »die Fähigkeit, einen Lichtreiz dem Reflexcentrum zuzuleiten«, nicht geschwächt, wohl aber »diejenige Empfindlichkeit gegen Licht, auf deren Dasein wir aus dem Lichtreflex der Pupillen schließen«.

Wenn man sich die »RE« mit »objektive Lichtempfindlichkeit« (Gegensatz: »objektive Blindheit« oder »Objektivblindheit«) übersetzt, so ist es auch klar, dass man wohl ein Auge oder eine Netzhaut reflexempfindlich nennen kann, dass es aber keinen Sinn hat, von reflexempfindlichen Pupillen zu sprechen.

Die RE des Auges hat mit der Beweglichkeit der Pupillen nur das gemein, dass beide — ähnlich wie Refraktion und Sehschärfe — gewöhnlich

zusammen geprüft werden: Die direkte Reaktion einer Pupille ist uns ein Zeichen dafür, dass diese Pupille beweglich und dass das zugehörige Auge reflexempfindlich ist; die konsensuelle Reaktion einer Pupille beweist, dass diese Pupille beweglich und das Auge der anderen Seite reflexempfindlich ist. Aber:

Eine Pupille kann unbeweglich sein, z. B. durch Atropin, so bleibt doch die RE des Auges erhalten. Beweis: die konsensuelle Reaktion der Pupille des anderen Auges. Nach Atropinisierung beider Augen bleibt ebenfalls die RE erhalten, die centripetalen Pupillenfasern erfüllen nach wie vor ihre Funktion, einen Lichtreiz dem Pupillencentrum zuzuleiten, aber die gelähmten Sphinkteren sind nicht mehr im stande, auf die Erregung ihres Centrums mit einer Verengerung zu reagieren. Es fehlt also bei Unbeweglichkeit beider Pupillen der Maßstab zur Beurteilung der RE der Augen.

Umgekehrt kann die centripetale Pupillenleitung die RE aufgehoben sein — z. B. durch Verstopfung der A. centralis retinae —, ohne dass die centrifugale Pupillenbahn in Mitleidenschaft gezogen wäre: die zugehörige Pupille bleibt frei beweglich (konsensuell und akkommodativ). Bei beiderseitiger Reflextaubheit ist immer noch die wohlerhaltene akkommodative Reaktion als Zeichen der Wegsamkeit der centrifugalen Pupillenbahnen übrig.

Fände sich neben beiderseitiger Reflextaubheit einmal eine central (kortikal oder subkortikal) bedingte Konvergenzlähmung, so würde ein Symptomenbild resultieren — stark erweiterte, gleich weite, vollkommen unbewegliche Pupillen —, welches sich durch nichts von der beiderseitigen Oculomotoriusparalyse unterscheiden würde, obwohl in diesem fingierten Falle die centrifugale Bahn des Oculomotorius intakt wäre.

§ 12. Dass die centripetalen Pupillenfasern als eigene, von den dem Sehen dienenden Fasern verschiedene Nervenfasern im Sehnerven enthalten sind, dürfen wir nach den anatomischen und experimentellen Untersuchungen von KEY und RETZIUS, v. GUDDEN, v. MONAKOW und BERNHEIMER (88) annehmen.

Sie sollen dicker sein als die Sehfasern und ebenso wie diese im Chiasma sich halbkreuzen. Vom Traktus biegen sie — nach BERNHEIMER — am äußeren Kniehöcker medialwärts ab und schlängeln sich durch die Substanz des vorderen Vierhügels hindurch zu dem Sphinkterkern ihrer Seite. Beide Kerne stehen miteinander in Kontaktverbindung. Ein eigenes Centrum für die Pupillarreaktion scheint in den Vierhügeln nicht zu bestehen. Nach BACH's (87) Vermutung, die sich indes auf nicht einwandfreie Experimente und pathologische Befunde stützt, bilden die Pupillenfasern von den Vierhügeln aus zunächst eine Schleife nach dem oberen Teil des Halsmarks, in welchem nach seiner Meinung das Centrum für die Pupillenbewegung zu suchen ist (vgl. dazu RUGE (140), BACH und MEYER (148)).

Auf Grund von wunderbar schön klappenden Experimenten an Hunden hatte v. Bechterew (16) früher angenommen, dass die Pupillenfasern eines Auges das Chiasma ohne Kreuzung durchziehen und unmittelbar hinter demselben von dem Traktus zum Boden des dritten Ventrikels aufsteigen, um in dessen seitlicher Wand jederseits — ebenfalls ohne Durchkreuzung — zu dem Pupillenkern ihrer Seite zu ziehen. Beide Kerne seien durch Querfasern miteinander verbunden.

v. Bechterew (57) hat später revoziert und sich voll und ganz zur Lehre Gudden's bekannt. »Leider!« möchte man sagen. Denn seine Anschauung hatte viel Bestechendes, erstens weil nach derselben die Pupillenfasern auf dem kürzesten Wege zu ihrem Bestimmungsort, dem Oculomotoriuskern, gelangten, zweitens weil die Halbkreuzung der Pupillenfasern im Chiasma nicht wie diejenige der Sehfasern ein physiologisches oder pathologisches Postulat ist, endlich weil einige Thatsachen aus der menschlichen Pathologie als Stütze der v. Bechterew'schen Ansicht dienen könnten (vgl. § 17).

§ 13. Klinisch steht über den Verlauf der centripetalen Pupillenfasern nur so viel fest, dass sie in dem Stamm des Sehnerven, zwischen Bulbus und Chiasma, und in dem Chiasma enthalten sind. Unwegsamkeit eines N. opticus bedingt immer Blindheit und Reflextaubheit des betreffenden Auges. Bei einseitiger Reflextaubheit sind die Pupillen gleich weit, etwas über mittelweit (= Weite *b* vor der Erblindung) und reagieren beide (leidlich) gut beim w. V. u. E. (wechselnden Verdunkeln und Erhellen) beider Augen, gut mit der Akkommodation, gut auch beim w. V. u. E des sehenden (und reflexempfindlichen) Auges, gar nicht beim w. V. u. E. des blinden (und reflextauben) Auges. (Die Pupille des gesunden Auges reagiert direkt gut, konsensuell nicht, die des blinden direkt nicht, konsensuell gut.)

Dieser typische Symptomenkomplex findet sich regelmäßig wieder bei allen unkomplizierten Fällen von einseitiger Sehnervenatrophie. Beispiele sind jedem Augenarzt zur Genüge bekannt. Einige mögen hier Platz finden:

1. P. W., 54 Jahre, war mit 2 Jahren mit einem Stock in die innere Ecke des rechten Auges gestoßen worden und sah seitdem nichts mehr damit. Das rechte Auge steht um 3 mm divergent, sonst äußerlich nichts Abnormes. Die Pupillen sind gleich weit (3,0) und frei beweglich (w. V. u. E. beider Augen).

Links: RE n., S. n., O. n.

Rechts: RE = 0, S = 0, Ophth. Atrophia n. optici, dazu central ein großer schwarzer Pigmentklumpen.

2. C. H., 49 Jahre (vgl. 32). Vorgestern plötzlich links erblindet. Äußerlich nichts Abnormes. Isokorie[1]).

1 Das Wörtchen Isokorie besagt nur, dass die Pupillen gleich weit, nicht auch, dass sie beweglich sind; aber »RE n.« kann nur diagnostiziert werden, wenn mindestens eine von beiden Pupillen frei beweglich ist Somit ist in der Verbindung »Isokorie, RE n.« implicite enthalten, dass die Pupillen gut beweglich und gleich gut beweglich sind. Die drei Wörtchen »Isokorie, RE n.« stellen eine kurze, aber gute Beschreibung normaler Pupillenverhältnisse dar, doppelt gut, weil auch die Scheidung zwischen centrifugalen und centripetalen Pupillenstörungen durch dieselbe angedeutet wird.

Links: RE = 0, S = 0, Ophth.: das Bild von Embolie der Art. centralis. Rechts: RE n., S. n., O. n.

3. Fall von Hirschberg (124). 21 jähriges Fräulein, linkes Auge normal, rechtes stockblind. Pupillen gleich weit ($3^1/_2$ mm). »Sowie man das linke, gesunde Auge mit der Hand bedeckt, wird die Pupille des kranken binnen 1—2 Sekunden stürmisch[1]) bis zu einer Breite von fast 8 mm erweitert und verharrt, bewegungslos auf Lichtwechsel, in dieser Breite, bis man wieder Licht in das gesunde Auge fallen lässt.« (Das linke Auge von normaler RE, das rechte reflextaub.) Erst später ophthalmoskopische Veränderungen. Anfangs konnte Hysterie nur auf Grund des Pupillenbefundes ausgeschlossen werden.

4. Ernst v. S. und die übrigen, § 18b angeführten Fälle.

Durch solche Fälle wird bewiesen, dass die centripetalen Pupillenfasern sämtlich im Stamm des Sehnerven, zwischen Bulbus und Chiasma, enthalten sind. (Wegen der Isokorie dabei vgl. § 19.)

§ 14. Im Chiasma sind alle von beiden Augen ausgehenden centripetalen Pupillenfasern vereinigt. Durch Zerstörung des Chiasma entsteht ebenso wie durch Zerstörung beider Nervi optici Blindheit und Reflextaubheit beider Augen: Die Pupillen sind gleich weit, beträchtlich erweitert (— Weite a vor der Erblindung) und reagieren nicht beim w. V. u. E. beider Augen, gut mit der Akkommodation.

§ 15. Gehen die centripetalen Pupillenfasern im Chiasma eine Halbkreuzung ein wie die Sehfasern?

Die konsensuelle PR beweist, dass die centripetalen Pupillenfasern eines Auges auch mit den centrifugalen Pupillenfasern des anderen Auges in Verbindung stehen. Dies kann geschehen einmal durch Semidekussation im Chiasma, zweitens durch Faseraustausch im Kerngebiet des N. oculomotorius, drittens durch beides. Eine centrale Faserverbindung muss vorhanden sein; das lehrt ein Fall von S. Weir-Mitchell (37), in welchem die Natur das Experiment des sagittalen Medianschnittes durch das Chiasma nachgeahmt hatte. Trotzdem war die PR normal gewesen.

Durch einen Tumor war das Chiasma in eine rechte und eine linke Hälfte zerlegt worden, Nervus und Tractus opticus einer Seite waren von denjenigen der anderen Seite fast vollständig getrennt. Dabei bestand bitemporale Hemianopie bei normaler PR. (Über die RE der einzelnen Netzhauthälften ist nichts gesagt. Hier konnte also die konsensuelle PR nur durch eine centrale Verbindung zu stande kommen. — Leider ist der Fall nicht ganz einwandsfrei, weil noch ein paar Fäserchen zwischen rechter und linker Chiasmahälfte stehen geblieben waren. Immerhin dürfte er im Verein mit den Experimenten Bernheimer's (sagittaler Medianschnitt durch das Chiasma des Affen, danach direkte und konsensuelle PR erhalten) genügen zu dem Nachweis, dass im Kerngebiet des N. III. die centripetalen Pupillenfasern einer Seite nicht nur mit dem

1) Die Weite a sieht man nicht alle Tage.

gleichseitigen, sondern — direkt oder indirekt — auch mit dem kontralateralen Sphinkterkern zusammenhängen.

Einen gleich sicheren klinischen Beweis für die Halbkreuzung der Pupillenfasern im Chiasma besitzen wir bisher nicht. Zur Erklärung der konsensuellen PR beim Gesunden ist die centrale Faserverbindung ausreichend. Dagegen wäre die (von A. GRAEFE in seinen Vorlesungen stets betonte) Thatsache, dass bei Traktushemianopie die direkte und konsensuelle Reaktion beider Pupillen auf Licht erhalten bleibt, absolut beweisend für die Existenz sowohl einer central wie einer peripher vom Traktus gelegenen Faserverbindung, wenn es feststände, dass die centripetalen Pupillenfasern in den Sehstielen enthalten sind. Das steht aber nicht fest (vgl. § 16). Folglich muss auch die Frage nach der Halbkreuzung der Pupillenfasern im Chiasma vorläufig offen bleiben.

§ 16. Sind die centripetalen Pupillenfasern in den Sehstielen enthalten?

Fußend auf der Voraussetzung eines vollständigen Parallelismus des Verlaufes der Seh- und Pupillenfasern in der Netzhaut, dem Sehnerv, dem Chiasma und dem Sehstiel hatte bekanntlich WERNICKE (19) seine Lehre von der hemiopischen Pupillarreaktion verkündet.

Da die Pupillenfasern sich bei den Vierhügeln von den Sehfasern trennen (sollen), so konnte das Symptom — Ausbleiben der PR bei isolierter Erhellung der blinden Netzhauthälften — nur bei Traktushemianopie, nicht auch bei mehr central bedingter Hemianopie sich finden, musste also ein höchst wertvolles Zeichen zur Lokalisation der Krankheit sein.

Wenn die Sache stimmt, so müssen wir bei Traktushemianopie finden: Beide Pupillen sind gleich weit, etwas über mittelweit (so weit wie bei einseitiger Reflextaubheit, denn es sind genau soviel centripetale Pupillenfasern wie dabei zerstört). Sie reagieren mäßig gut beim w. V. u. E. beider Augen, gut mit der Konvergenz, mäßig gut auch beim w. V. u. E. jedes einzelnen Auges. Sie reagieren gut bei (möglichst) isolierter Erhellung der sehenden, wenig oder nicht bei (möglichst) isolierter Erhellung der blinden Netzhauthälften.

Bei central bedingter Hemianopie sind die Pupillen in jeder Beziehung normal. Sie sind normal weit und frei beweglich; die RE jedes Auges und jeder Netzhauthälfte ist gut erhalten.

Fände sich die hemiopische PR regelmäßig bei allen Gesichtsfelddefekten, deren Ursache peripher von den Vierhügeln gelegen ist, und würde ebenso regelmäßig vermisst bei centraler Hemianopie, so würde uns das in etwa zu dem Rückschluss berechtigen, dass im Tractus opticus und peripher davon, im Chiasma, im Sehnerv und in der Netzhaut, die Pupillenfasern in analoger Verteilung wie die Sehfasern enthalten sind.

Der Schluss ist nicht erlaubt: In Fällen von Traktus- und Chiasmahemianopie konnten STORY (45), UHTHOFF (39), LIEBRECHT (93), SILEX (107), in einem Falle von Hemianopia (unilateralis) superior durch Verstopfung eines Astes der Netzhautarterie konnte ich (53) einen Unterschied in der RE der blinden und sehenden Netzhauthälften nicht finden. Besonders beweisend scheint mir der Fall von STORY zu sein: Seine 25 jährige Patientin mit Chiasmageschwulst bot 6 Jahre hindurch dasselbe Bild: rechts Amaurose, links temporale Hemianopie mit Grenzlinie durch den Fixierpunkt (wiederholte Gesichtsfeldaufnahmen). Dabei trotz sorgfältigster Untersuchung keine hemiopische PR. Andererseits teilt HIRSCH (42) aus der Würzburger Augenklinik (v. MICHEL) einen im übrigen dem STORY'schen auffallend ähnlichen Fall mit (rechtes Auge und nasale Hälfte der Netzhaut des linken Auges blind und reflextaub), in welchem die Sektion einen Tumor im rechten Occipitallappen ergab.

Die hemiopische PR ist ein trügerisches Symptom, welches — selbst wenn es konstant bei centraler Hemianopie fehlen, bei peripherer vorhanden sein sollte — doch nicht entfernt dieselbe Beweiskraft für den Verlauf der centripetalen Pupillenfasern besitzen würde, wie ein hemianopisches Gesichtsfeld für den Verlauf der Sehfasern; wegen der vielen Beobachtungsfehler, welche bei der Untersuchung mit unterlaufen können (vgl. § 41 ff).

Ein unanfechtbarer klinischer Beweis dafür, dass die Pupillenfasern in den Sehstielen enthalten sind, ist meines Wissens noch nicht vorhanden. Ein solcher wäre gegeben, wenn in einem Fall von Zerstörung beider Traktus bei normalem Chiasma neben beiderseitiger Blindheit auch beiderseitige Reflextaubheit gefunden würde.

§ 17. Nach der (früheren) v. BECHTEREW'schen Anschauung (vgl. § 12) hatten wir bei cirkumskripten Läsionen des dritten Ventrikels äußerst prägnante Symptome zu erwarten, nämlich:

1. Bei einseitiger nuklearer Sphinkterlähmung: Reflextaubheit des gelähmten Auges, also Ausfall der konsensuellen PR auf dem anderen Auge, ein so auffallendes Symptom, dass man, bei der Häufigkeit nuklearer Lähmungen, sich wundern muss, dass es nicht schon öfter beobachtet sein sollte. Nur bei LYDER BORTHEN (48) finde ich einen Fall von einseitiger reflektorischer Pupillenstarre beschrieben, in welchem die zweite, frei bewegliche Pupille konsensuell schlechter reagierte als direkt, was um so auffallender ist, als man — wegen der Erweiterung der gelähmten Pupille — das Gegenteil erwarten sollte.

2. Bei einseitiger Zerstörung der Ventrikelwand: Einseitige Reflextaubheit bei gutem Sehen; ebenfalls ein Symptom, welches man nicht übersehen kann, allerdings vorausgesetzt, dass man die Pupillen prüft, wozu man, bei gleicher Weite beider und gutem Sehen, sich wohl meist nicht veranlasst fühlt. Möglich auch, dass die eine oder andere derartige Beobachtung sich in der Litteratur unter dem falschen Namen »einseitige reflektorische Pupillenstarre« findet.

3. Bei beiderseitiger Zerstörung der Wand des dritten Ventrikels: Beiderseitige Reflextaubheit bei normalem Sehen. Einen, wie mir scheint, hierher

gehörigen Fall hat Moeli (28) beschrieben: Bei einem 57jährigen Arbeiter waren die Pupillen gleich weit, knapp 5 mm, auf Licht vollkommen unbeweglich, mit der Konvergenz gut reagierend. S., Gf., Farbensinn und ophthalmoskopischer Befund normal. — Tumor von der Größe eines kleinen Apfels im vorderen Teil des dritten Ventrikels. Optici und Oculomotorii normal.

Auch Christiani hat — nach Henschen (61) — Beziehungen der Wand des dritten Ventrikels zur Pupille nachgewiesen. Dass im centralen Höhlengrau Pupillarreflexfasern verlaufen, hält auch Schütz (44) nach seinen eigens auf diesen Punkt gerichteten Untersuchungen für wahrscheinlich, obschon er in einigen Fällen von Paralyse mit reflektorischer Pupillenstarre die aus dem Tractus opticus in das Infundibulum abgehenden Fasern, sowie den dritten Ventrikel selbst intakt fand. (Dazu wäre zu bemerken, dass Reflextaubheit beider Augen, aber nicht reflektorische Starre beider Pupillen aus Läsionen der Ventrikelwand resultieren müsste, falls in ihr die centripetalen Pupillenfasern verlaufen.)

4. Dahingegen würde (nach derselben Ansicht) eine Zerstörung beider Tractus optici (mit Verschonung des Chiasmas) eine Störung der RE ebensowenig zur Folge haben dürfen wie eine central bedingte beiderseitige Amaurose.

Nach alledem scheint mir die an und für sich ja wahrscheinliche Annahme, dass die centripetalen Pupillenfasern in den Sehstielen mit eingeschlossen sind, doch noch weiterer Stützen bedürftig, bevor man auf ihr weiter baut; so auch, bevor man die verschiedenen Möglichkeiten des Verlaufes der Pupillenfasern auf der Strecke von den Vierhügeln zu den Sphinkterkernen erörtert. Dass die Vierhügel selbst keinen Teil des Reflexbogens für die Lichtreaktion bilden, geht mit Wahrscheinlichkeit aus Beobachtungen hervor, in welchen trotz Zerstörung der Vierhügel durch Geschwülste die Lichtreaktion erhalten, überhaupt das Verhalten der Pupillen ein normales war (Goldzieher 52, v. Bechterew 111).

§ 18. Sind wir auch klinisch zur Annahme eigener, von den Sehfasern verschiedener »Pupillenfasern« im Sehnerven berechtigt?

Geeignet zur Entscheidung der Frage sind nur solche Fälle von Sehstörung, deren Ursache im Sehnervenstamm, zwischen Bulbus und Chiasma gelegen ist, weil nur in diesem Abschnitt der Sehbahn Seh- und Pupillenfasern ohne jeden Zweifel nebeneinander enthalten sind. Wird die zweifache Funktion des Sehnerven, S. und RE, durch ein und dieselbe Nervenfaser vermittelt, so muss, bei allen Affektionen des Sehnervenstammes, jene zwiefache Funktion in gleicher Weise geschädigt sein; es kann nicht die eine aufgehoben, die andere erhalten sein, Fälle von unkomplizierter einseitiger Blindheit (durch Sehnervenleiden) bei erhaltener RE können nicht vorkommen, ebensowenig Fälle von einseitiger Reflextaubheit bei erhaltenem Sehvermögen. Wie steht es damit?

a) Einseitige Amaurose bei erhaltener Reflexempfindlichkeit scheint, abgesehen von der Hysterie, thatsächlich nicht vorzukommen. Jede Netzhaut- und Sehnervenaffektion, welche das Sehvermögen eines Auges

vernichtet, hebt auch die RE desselben auf. Wo immer einseitige Blindheit behauptet wird und die RE gut erhalten ist, da liegt — bewusste oder unbewusste — Simulation vor. Nur das erlebt man bei sehr darniederliegendem Sehen nicht so gar selten, dass ein Lichtreiz von bestimmter Intensität zwar zur Auslösung einer PR, nicht aber zur Hervorrufung einer Lichtempfindung ausreicht; verwendet man aber dann stärkere Lichtkontraste, so findet man immer, dass das reflexempfindliche Auge auch noch eine Spur (subjektive) Lichtempfindung besitzt (vgl. dazu 25, S. 66 f.). Wegen der wohlerhaltenen RE bei reifem grauem Star vgl. § 59.

Auch wenn aus anderen Gründen, wie z. B. durch angeborene Schwachsichtigkeit, durch ein kleines centrales Skotom oder dgl., das Sehvermögen auf Fingerzahlen oder weniger reduziert ist, kann die RE gut erhalten sein. Da es den Trägern solcher Affektionen verhältnismäßig leicht ist und geradezu nahe liegt, vollständige Blindheit des amblyopischen Auges zu heucheln, so erklärt es sich, dass doch von Zeit zu Zeit Fälle von einseitiger Amaurose bei normaler PR (RE) beschrieben werden. Dahin möchte ich einen von Stabsarzt R. Wernicke (69) mitgeteilten Fall von vollständiger einseitiger »Blindheit ohne jeglichen objektiven Befund«, auch ohne Störung der Pupillenbewegung, rechnen, trotz aller auf Entlarvung von Simulation gerichteter erfolgloser Bemühungen.

b) Einseitige Reflextaubheit bei erhaltenem Sehvermögen hatte ich in einer jeden Zweifel ausschließenden Weise in der Graefe'schen Augenklinik in Halle a. S. zu beobachten Gelegenheit:

Der 8jährige Ernst v. S. war nach einer Verletzung des linken Supraorbitalrandes zunächst vollständig blind und reflextaub auf dem linken Auge. Bald kehrte indes im oberen Teil des Gesichtsfeldes der Lichtschein wieder, und nach einigen Tagen wurden in diesem Bezirk Finger in 6′ sicher gezählt. Trotzdem blieb RE = 0, durch stärkste Lichtkontraste konnte keine Kontraktion der (gut beweglichen und gleich weiten) Pupillen ausgelöst werden. Das centrale Sehen blieb = 0. Ophthalmoskopisch anfangs negativer Befund, später Atrophie. Das rechte Auge normal.

Ähnliche Fälle sind beschrieben von Samelsohn ([13] 36jährige Frau, nach vorausgegangener totaler Amaurose eines Auges hinterblieb ein centrales Skotom von 10° Radius bei guter excentrischer Sehschärfe, dabei kaum merkliche direkte Lichtreaktion), Hirschberg ([20] 23jähriges Mädchen, mit retrobulbärer Neuritis, rechts großes centrales Skotom, excentrisch Finger in 2′, die rechte Pupille reagiert deutlich nur auf indirekten Lichteinfall), Brixa ([82] 30jähriger Mann, am linken Auge verletzt [4. Mai 1897], sah am 7. Mai Finger 2 m [jedenfalls excentrisch, da noch nach einem Jahr ein centrales Skotom nachweisbar war], Pupillen gleich weit, RE links aufgehoben, rechts normal).

In allen diesen Fällen handelte es sich um erloschene RE bei erhaltenem excentrischen Sehvermögen. Die dieses excentrische Sehen vermittelnden Nervenfasern dienten nicht gleichzeitig der RE. So waren also nur die dem centralen Sehen vorstehenden Sehfasern gleichzeitig Träger der RE? Oder es muss zur Auslösung der PR eigene, centripetale Pupillenfasern im

N. opticus geben. Letztere Annahme hat die größere Wahrscheinlichkeit für sich, wenn auch ein unanfechtbarer Beweis für dieselbe sich vorläufig nicht erbringen lässt. Fälle von einseitiger Reflextaubheit bei erhaltenem centralen Sehen giebt es nicht und wird es wohl niemals geben, weil die dem centralen Sehen dienenden Fasern im Sehnervenstamm einen zu großen Raum einnehmen und wohl auch zu empfindlich sind, als dass sie durch einen die RE aufhebenden Sehnervenprozess nicht mit zu Grunde gerichtet würden.

Sehr darniederliegende RE bei relativ gutem Sehen habe ich (32) in folgendem, der Hallenser Universitäts-Augenklinik entstammenden Fall beobachtet:

Frau Pr., 30 Jahre, litt an frischer Neuritis des rechten Sehnerven. Die Pupillen waren gleich weit und gleich gut beweglich (w. V. u. E. beider Augen).

Links: RE, Sc., Gf. und o. B. n.

Rechts: RE $<$!, Sc. = Finger 1′, Gf. sektorenförmig eingeengt.

Unter Jodkali besserte sich S. bis auf $^5/_9$, trotzdem blieb RE minimal, stand also jetzt durchaus nicht mehr in Einklang mit Sc., wohl aber im besten Einklang mit der mittlerweile atrophisch gewordenen Papille.

Sehr wahrscheinlich wird es immerhin durch solche Fälle, dass auch die dem centralen Sehen dienenden Nervenfasern nichts mit der Vermittlung der RE zu thun haben, dass also zu letzterem Zweck eigene, centripetale Pupillenfasern im N. opticus enthalten sind.

§ 19. Durch centripetale Pupillenstörungen entsteht niemals Pupillenungleichheit. Dieser Satz wird bewiesen durch die Beobachtungen von einseitiger Reflextaubheit, in welchen trotz jahre- und jahrzehntelangen Bestehens ein Unterschied in der Pupillenweite sich nicht herausbildet (vgl. § 13). Er steht in bestem Einklang mit der Erfahrung, dass beim Gesunden bei Verdunkelung eines Auges und gleichzeitiger greller Beleuchtung des anderen die Pupillen gleich weit bleiben, und er wird nicht erschüttert durch Fälle von einseitiger Reflextaubheit mit Erweiterung oder Verengerung der Pupille des kranken Auges: in diesen haben wir eben nach komplizierenden Erkrankungen im Bereiche der centrifugalen Pupillenfasern zu suchen.

Dahin gehören z. B. die ungemein häufigen Fälle von einseitiger traumatischer, glaukomatöser oder syphilitisch-neuritischer Sehnervenatrophie mit auf die gleiche Ursache zurückzuführender paralytischer Mydriasis des blinden Auges. Wegen der einseitigen Blindheit können in solchen Fällen gewisse Begleiterscheinungen (Akkommodationslähmung, Doppeltsehen), welche sonst die Diagnose Sphinkterlähmung zu befestigen pflegen, nicht zur Stütze derselben herangezogen werden. Betrifft die Sphinkterlähmung nicht das blinde, sondern — was bei neuritischer Atrophie natürlich auch vorkommen kann — das sehende Auge, so ist die begleitende Akkommodationslähmung leicht aufzudecken.

Im Vergleich zu diesen komplizierten Fällen mögen die unkomplizierten Fälle (von einseitiger Sehnervenatrophie mit Blindheit und Reflextaubheit bei Isokorie) sogar recht selten sein. Nichtsdestoweniger müssen wir ihnen zu Liebe an dem Satze festhalten, dass durch centripetale Pupillenstörungen niemals Anisokorie entsteht.

Außerdem dürfen wir wohl rückschließen: Wenn sogar der dauernde Ausfall der Funktion eines Auges Pupillendifferenz nicht bedingt, um wieviel weniger werden wir eine solche bei der vorübergehenden Verdunkelung erwarten, wie wir sie zwecks Prüfung der Lichtreaktion vornehmen.

Auch bei Traktushemianopie hat man mitunter die der Seite des Defektes entsprechende Pupille erweitert, aber normal beweglich gefunden und diese Erweiterung als direkte Folge der Traktusläsion, gleichzeitig als Beweis für die Existenz einer basalen Ursache der Hemianopie ansehen zu müssen geglaubt (Schweigger, Th. Sachs 34). Letzteres wird man gelten lassen können, wenn man auch mit Rembold (10, S. 92) als Ursache der Mydriasis lieber eine komplizierende Erkrankung (leichte Parese des Oculomotorius) annehmen wird.

Eine andere scheinbare Ausnahme von der Regel stellt folgender, meines Wissens einzig in der Litteratur dastehender Fall von Baumeister (5) dar. Bei einem 21jährigen, von Geburt an total blinden Mädchen mit kleinen Bulbi und atrophischen Papillen waren die Pupillen gleich weit, $3^1/_2$ mm, und erweiterten sich bei kurzer Beschattung beider Augen gar nicht, bei längerer Verdunkelung (1 Minute) auf 5 mm, um nach erneuter Erhellung allmählich, im Verlauf von 15—20 Sekunden, den ursprünglichen Durchmesser wieder zu erreichen. Bei Verdunkelung eines Auges erweiterte sich nur dessen Pupille.

Also ein Fall von Amaurose mit im Erlöschen begriffener RE, in welchem vermutlich alle Verbindungen zwischen rechts- und linksseitigen Pupillenfasern unterbrochen waren und jeder Augapfel nur noch mit dem gleichseitigen Sphinkterkern sowohl centripetal wie centrifugal durch eben noch leistungsfähige Fasern zusammenhing, ein Fall von Isokorie (nach unserer oben, § 7, gegebenen Definition), und keine wirkliche Ausnahme von der Regel, dass Pupillenungleichheit niemals durch centripetale Pupillenstörungen bedingt ist.

2. Die centrifugalen Pupillenfasern.

§ 20. Jede Läsion der centrifugalen Pupillenfasern, welche überhaupt Symptome macht, bedingt vor allem eine Veränderung der Weite der betreffenden Pupille, somit, wenn sie einseitig oder beiderseits verschieden hochgradig ist, Pupillenungleichheit.

Bei beiderseitigen Affektionen müsste es schon ein eigener Zufall sein, wenn die centrifugalen Pupillenfasern beider Seiten in genau gleichem Grade geschädigt sein sollten, wenn also ein Unterschied in der Weite beider Pupillen nicht die Folge sein sollte. Am ehesten wohl dürfte das bei vollständiger Zerstörung der beiderseitigen Fasern zur Beobachtung gelangen.

Die in ihrer Größe veränderte Pupille wird in der Regel (immer?) gleichzeitig mehr oder weniger von ihrer Beweglichkeit eingebüßt haben, besonders dann, wenn der eigentliche Bewegungsnerv der Pupille, der Oculomotorius, betroffen ist.

a) Der Nervus oculomotorius.

§ 21. Man denkt sich den N. oculomotorius zweckmäßig seiner ganzen Länge nach aus einzelnen Zweigen — für die einzelnen Augenmuskeln — zusammengesetzt. Der Zweig für den M. sphincter pupillae, Ramus iridis n. III., entspringt aus dem Sphinkterkern, verläuft mit dem anderen Zweig für die innere Augenmuskulatur, dem für den M. ciliaris, zusammen axial im Stamme des N. oculomotorius (H. Ackermann) und gelangt via Radix brevis — Ganglion ciliare — Nervi ciliares breves zum Augapfel. Der Sphinkterkern liegt, wie nunmehr feststeht (Bernheimer), im vordersten Teile des Oculomotoriuscentrums, unter der Sylvius'schen Wasserleitung, an der Grenze des dritten Ventrikels. Hier müssen die centrifugalen Fasern einer Seite einerseits mit den centripetalen Pupillenfasern beider Augen, andererseits mit Fasern aus dem kortikalen Konvergenz- (und Akkommodations-) Centrum in Verbindung stehen. Genaueres über diese Verbindung ist nicht bekannt[1]).

§ 22. Durch totale ein- (etwa links-) seitige Oculomotoriuslähmung entsteht Unbeweglichkeit oder Starre (absolute Starre) der linken Pupille: Die Pupillen sind ungleich, die linke ist bedeutend erweitert, die rechte etwas verengt (§ 54). Beim w. V. u. E. beider Augen reagiert nur die rechte, desgleichen mit der Konvergenz. (Sie allein ist beweglich.) Die rechte reagiert auch beim w. V. u. E. jedes einzelnen Auges (als Beweis, dass die RE jedes Auges erhalten ist).

Im absolut finsteren Raume ist vielleicht die Differenz zwischen beiden Pupillen ausgeglichen, vollständige Entspannung der Akkommodation vorausgesetzt. (Blitzlichtphotographie.)

Ist ein Sphinkterkern mit allen zu- und abführenden Nervenfasern zerstört, so haben wir außer Starre der betreffenden (linken) Pupille (Lähmung der linken centrifugalen Pupillenfasern) noch Störungen der RE (Störungen der centripetalen Pupillenfasern) zu erwarten, und zwar:

a) Unter der Voraussetzung, dass die Pupillenfasern in der Netzhaut und im Sehstiel in gleicher Verteilung wie die Sehfasern enthalten sind: Reflextaubheit der beiden linken Netzhauthälften (hemiopische PR ohne Hemiopie): die rechte Pupille reagiert auf Licht sowohl direkt wie konsensuell, aber wesentlich besser, wenn die rechten als wenn die linken Netzhauthälften vom Licht getroffen werden. Da sie konsensuell ausgiebiger reagiert als direkt, so wird man am besten das linke Auge beleuchten und die Bewegungen der rechten Pupille beobachten. Dieses Verhalten ist von Schwarz (105) beobachtet, von Schanz (75) in seinen drei Fällen von reflektorischer Pupillenstarre vermisst worden.

b) Unter der Voraussetzung, dass die (alte) Bechterew'sche Lehre zu Recht bestände: Reflextaubheit des linken Auges, also keine konsensuelle Reaktion der rechten Pupille. (Vgl. dazu § 17 den Fall von Lyder Borthen.)

---

1) Vgl. darüber Bernheimer, dieses Handbuch, 2. Aufl. Bd. I Kap. VI. § 53 ff.

Sollten diese Störungen der RE sich regelmäßig neben den Störungen der Beweglichkeit der Pupillen nachweisen lassen, so wären sie differentialdiagnostisch, zur Unterscheidung von peripheren Oculomotoriuslähmungen, verwertbar. Es muss übrigens betont werden, dass mit dem Obigen (a und b) die Möglichkeiten der Einmündung der centripetalen Pupillenfasern in die Sphinkterkerne keineswegs erschöpft sind.

§ 23. Durch beiderseitige totale Oculomotoriuslähmung entsteht Unbeweglichkeit oder absolute Starre beider Pupillen: Die Pupillen sind gleich weit, bedeutend weiter als normal (=Weite a r vor der Erkrankung?). Sie bewegen sich weder beim w. V. u. E. beider Augen noch mit der Akkommodation. Ihr Verhalten ist das gleiche bei Kernlähmung wie bei Lähmung der Nervenstämme.

Ausnahmsweise hat man bei (ein- und beiderseitiger) Oculomotoriuslähmung die »starren« Pupillen noch reagieren sehen, wenn das Auge nach außen (v. Graefe, Weiss, Samelsohn 65) oder nach unten (Kirchner 112) bewegt wurde. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um präformierte Nervenbahnen, deren Wirkung für gewöhnlich bei Gesunden verborgen bleibt und nur bei Erfüllung gewisser, zum Teil noch näher aufzudeckender pathologischer Vorbedingungen an den Tag kommt. (Wegen der Lidschlussverengerung der Pupille s. § 58, 9.)

§ 24. **Stellt der Ramus iridis n. oculomotorii die gemeinschaftliche Bahn für die Licht- und die Konvergenzreaktion dar** oder dürfen wir uns denselben zusammengesetzt denken aus zwei Zweigen, einem für die Licht- und einem für die Konvergenzreaktion? Die Frage kann — klinisch — mit großer Wahrscheinlichkeit in letzterem Sinne beantwortet werden. Denn anders als durch eine solche Zweiteilung lassen sich gewisse Fälle von partieller Pupillenlähmung nicht erklären, vor allem Fälle von einseitiger reflektorischer Starre, in welchen dieses Symptom als Vorläufer, Begleiter oder als Überbleibsel einer Lähmung anderer Oculomotoriuszweige sich findet (Seggel 49, Schanz 75, Krüger 63, Rindfleisch 74 u. a.).

In dem Fall von Krüger war die einseitige reflektorische Starre zurückgeblieben nach einer durch Basisfraktur entstandenen Lähmung sämtlicher Äste des N. oculomotorius. In dem (1.) Falle von Seggel war eine Lähmung sämtlicher Äste des linken Oculomotorius zurückgegangen bis auf reflektorische Pupillenstarre und Parese des Obliquus inferior, also, wie der Autor auch selbst hervorhebt, gerade desjenigen Muskels, dessen Nervenzweig die kurze oder motorische Wurzel zum Ganglion ciliare abgiebt. In den übrigen Fällen kann die Ursache der Lähmung nuklear gesessen haben.

Diese Fälle nötigen, wie mir scheint, in ihrer Gesamtheit zu der Annahme, dass der Ramus iridis n. III. aus zwei Zweigen besteht, und zwar nicht nur im Kerngebiet, sondern während des ganzen Verlaufes des N. oculomotorius.

§ 25. Mit der Annahme einer solchen Zweiteilung des Ramus iridis n. oculomotorii würden sich viele bekannte Pupillenstörungen aus einer Läsion des Oculomotorius — sei es im Stamm, im Ursprungs- oder im Ausbreitungsgebiet — in ungezwungener Weise erklären lassen.

a) Isolierte Zerstörung des Zweiges für die Lichtreaktion (links) muss typische einseitige reflektorische Pupillenstarre machen: Die Pupillen sind ungleich, die linke ist erweitert; beim w. V. u. E. beider Augen reagiert nur die rechte, mit der Konvergenz reagieren beide. Die rechte (allein) reagiert auch beim w. V. u. E. jedes einzelnen Auges (da die RE jedes Auges erhalten ist), und zwar konsensuell etwas besser als direkt, wegen der Erweiterung der linken Pupille.

Das Bild ist also total verschieden von dem der einseitigen Reflextaubheit und — sollte man meinen — unmöglich damit zu verwechseln.

b) Durch beiderseitige Zerstörung des Zweiges für die Lichtreaktion entsteht beiderseitige reflektorische Pupillenstarre: Die Pupillen sind beide erweitert (= Weite *a* vor der Erkrankung) und reagieren nicht beim w. V. u. E. beider Augen, gut mit der Konvergenz.

Das Bild unterscheidet sich also in nichts von dem beiderseitiger Reflextaubheit. (Vgl. übrigens § 58, 7.)

c) Durch Zerstörung des Zweiges für die akkommodative Reaktion (links) entsteht einseitige akkommodative Starre: Die Pupillen sind, bei Akkommodationsruhe, normal weit und gleich weit (die linke höchstens eine Spur weiter als die rechte, weil die Akkommodation des gesunden Auges doch am Ende nicht so vollkommen entspannt werden kann wie die des gelähmten linken Auges, besonders bei Hyperopie), beim w. V. u. E. beider Augen reagieren beide, mit der Akkommodation verengt sich nur die rechte; auch beim w. V. u. E. jedes einzelnen Auges reagieren beide.

d) Durch beiderseitige Zerstörung des Zweiges für die akkommodative Reaktion entsteht beiderseitige akkommodative Starre: Die Pupillen sind normal weit (und gleich weit) und reagieren gut beim w. V. u. E. beider Augen, reagieren nicht beim Nahesehen, reagieren gut beim w. V. u. E. jedes einzelnen Auges.

Ein- und beiderseitige akkommodative Starre können also leicht übersehen werden und sind vielleicht häufiger als angenommen wird.

e) Durch Lähmung des Astes für die Lichtreaktion auf der einen (linken) und des Astes für die Konvergenzreaktion auf der anderen (rechten) Seite entstände linksseitige reflektorische, kombiniert mit rechtsseitiger akkommodativer Starre: Die linke Pupille ist im Dunkeln enger, bei Licht weiter als die rechte; letztere ist bei parallelen Augenachsen enger, bei konvergierenden Augenachsen weiter als ihre Partnerin. (Vgl. Schwarz 67, Falk 59.)

Wenn man solche Patienten zufällig das eine Mal am hellen Tage, das andere Mal in der Dämmerung sieht, ohne die Pupillenbewegungen genauer zu prüfen, kann man versucht sein, »springende Mydriasis« zu diagnostizieren.

Es liegt nahe, noch weitere Unterabteilungen für den »Ramus iridis n. oculomotorii« anzunehmen und den Zweig für die Lichtreaktion in einen für die direkte und einen für die konsensuelle Reaktion, den Zweig für die beim Nahesehen eintretende Reaktion in einen für die akkommodative und einen für die Konvergenzreaktion zu zerlegen; ein zwingender Grund dazu liegt aber wohl vorläufig nicht vor.

b) Der Nervus sympathicus.

§ 26. Der N. sympathicus, über den ich nur von Hörensagen berichten kann, führt — nach allgemeiner Annahme — erstens Vasomotoren für die Iris, zweitens okulopupilläre Fasern, welche letzteren ihm aus dem Budge'schen Centrum ciliospinale inferius im Rückenmark durch die vorderen Wurzeln des siebenten und achten Hals- und ersten und zweiten Brustnerven zugehen, um via Ganglion thoracicum primum — Ganglion cervicale supremum zum Ganglion Gasseri und von da, mit dem ersten Aste des Trigeminus vereinigt, in den langen Ciliarnerven, am Ganglion ciliare vorbei, zum Auge zu gelangen (vgl. Braunstein 58).

Zum Centrum ciliospinale inferius kommen die pupillenerweiternden Nerven aus dem Dilatationscentrum der Pupille in der Medulla oblongata, und dieses erhält seine Erregungen von den sensiblen Körpernerven teils direkt, teils — und hauptsächlich — auf dem Umwege der Hirnrinde. Andere — z. B. Liebrecht 93 — sehen in der Hirnrinde selbst das Dilatationscentrum der Pupille. Wie verschieden und widerspruchsvoll auf diesem Gebiete die Ansichten sind, möge aus dem 54 Seiten umfassenden geschichtlichen Überblick über die Pupillenerweiterung bei Braunstein ersehen werden.

§ 27. Als Paradigma einer reinen Sympathicuslähmung sei der Fall von Möbius (21) mitgeteilt, den auch Königstein (33) anführt:

Ein 22jähriger Student war mit einem Messer in die rechte Seite des Halses, unter dem Unterkieferwinkel, gestochen worden. 4 Wochen später fand sich: Die rechte Lidspalte war um die Hälfte enger als die linke, und zwar stand sowohl das obere Lid zu tief als das untere zu hoch. Die rechte Conjunctiva war leicht injiziert und feuchter als die linke. Pupillen kreisrund, die rechte nur halb so groß wie die linke, beide gleich gut beweglich, sowohl auf Licht wie mit der Konvergenz. Wurde eine Seite des Halses, gleichgültig welche, durch den faradischen Pinsel oder durch Nadelstiche energisch gereizt, so erweiterte sich die linke Pupille etwas, an der rechten Seite war keine Bewegung wahrzunehmen. S. und Refraktion n., Vorwölbung und Konsistenz des Bulbus, Gestaltung der Hornhaut beiderseits gleich. Anhidrosis und erhöhte

Temperatur der rechten Gesichtshälfte. — 1/2 und 1 1/2 Jahre später lag das rechte Auge tiefer als das linke und war die rechte Wange flacher als die linke, im übrigen die früheren Erscheinungen.

III. Prüfung der Pupillensymptome.

§ 28. Wir unterscheiden centrifugale (motorische) und centripetale (sensible) Pupillenfasern. Über beider Funktion wünschen wir uns durch die Prüfung der Pupillensymptome zu vergewissern. Die Prüfung zerfällt also in

1. Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen (der Funktion der centrifugalen Pupillenfasern),

2. Prüfung der Reflexempfindlichkeit der Augen (der Funktion der centripetalen Pupillenfasern).

Erhaltene Beweglichkeit wenigstens einer Pupille ist Vorbedingung zur Prüfung der RE der Augen, während bei beiderseitiger Reflextaubheit die Prüfung der akkommodativen Beweglichkeit der Pupillen sehr wohl noch möglich ist. Die Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen muss also der Prüfung der RE der Augen vorausgehen. Vor Prüfung der Bewegungen sieht man sich die Pupillen in ihrem Ruhezustand, bei Tageslicht und ruhigem Blick in die Ferne, an.

Jede Pupillenprüfung besteht demnach aus folgendem:

1. Wir besehen die Pupillen in ihrem Ruhezustand.
2. Wir verdunkeln und erhellen beide Augen.
3. Wir lassen weit und nahe sehen.
4. Wir verdunkeln und erhellen jedes einzelne Auge.

In der Regel ist damit die Prüfung beendet; nur bei Verdacht auf hemiopische PR, also bei allen hemiopischen Gesichtsfelddefekten, auch bei doppelseitiger Hemianopie (beiderseitiger Erblindung), sowie bei vermutlichen Herden in der Gegend der Vierhügel oder des dritten Ventrikels können wir noch versuchen, einzelne Netzhautstellen gesondert zu verdunkeln und zu erhellen.

Währenddessen beobachten wir die Pupillen und stellen fest:

1. Ob sie normal weit (und gleich weit) und kreisrund sind.
2. Ob sie in normaler Weise oscillieren.
3. Ob sie frei beweglich (und gleich gut beweglich) sind, und zwar
   a) auf Licht (w. V. u. E. beider Augen),
   b) mit der Konvergenz.
4. Ob die Augen normal reflexempfindlich (und gleich reflexempfindlich) sind.

Eingeschlossen in die vierte Frage ist die

5. Ob die RE der einzelnen Netzhautbezirke gut erhalten ist.

§ 29. Wenn wir aus der Summe aller Pupillenstörungen die centripetalen als Störungen der RE ausscheiden, so versteht es sich von selbst, dass wir das

Beiwort »Beweglichkeitsstörungen« für die centrifugalen Störungen reservieren, sehr entgegen dem heutigen Sprachgebrauch, welcher es gestattet, von »Lichtstarre«, »reflektorischer Starre«, »Unbeweglichkeit auf Licht« u. dgl. auch dann zu sprechen, wenn die centripetale Leitung aufgehoben, also — nach unserer Bezeichnungsweise — Reflextaubheit vorhanden ist. Bei beiderseitiger Reflextaubheit fehlt allerdings die Bewegung der Pupillen auf Licht, ihre Beweglichkeit ist erhalten.

Folgerichtigerweise sprechen wir nicht von hemianopischer Pupillenstarre, Pupillenunbeweglichkeit oder -unthätigkeit, sondern von hemianopischer PR oder noch besser von halbseitiger Reflextaubheit, hemiopischer Reflextaubheit (Schwarz) oder von Reflextaubheit zweier homonymer Netzhauthälften, Reflextaubheit eines blinden Netzhautbezirkes u. s. w.

Die Ersetzung von »Reflextaubheit« durch »Objektivblindheit« möchte wohl angehen, wenn man sich dahin einigen wollte, dabei nicht an Sehnervenatrophie zu denken.

Unbequem bei obiger Einteilung der Pupillenstörungen ist nur der Sympathicus, weil er, obwohl Bewegungsnerv, gelähmt sein kann, ohne dass ein Ausfall an Bewegung nachweisbar ist.

§ 30. Auch aus jeder Beschreibung von Pupillensymptomen muss zu entnehmen sein, erstens ob die centrifugalen, zweitens ob die centripetalen Pupillenfasern in Ordnung sind.

Diese Forderung wird nicht erfüllt durch Beschreibungen wie diese: »Die Pupillen reagieren träge« oder »reagieren träge auf Licht«.

Was man gewöhnlich liest:

»Die Pupillen sind mittelweit, die linke reagiert auf Licht direkt gut, konsensuell schwach, mit der Akkommodation gut, die rechte direkt schwach, konsensuell gut, mit der Akkommodation gut«, das ist ja richtig, aber gar umständlich und schwer verständlich. Besser vermeidet man die Ausdrücke »direkt« und »konsensuell« und sagt:

»Die Pupillen sind gleich weit (4,0) und reagieren gut sowohl beim w. V. u. E. beider Augen wie mit der Akkommodation (sind also normal beweglich); sie reagieren gut auch beim w. V. u. E. des linken, aber schwach beim w. V. u. E. des rechten Auges. (Es ist also die RE, die Funktion der centripetalen Pupillenfasern, links normal, rechts herabgesetzt.)« Oder kürzer:

»Die Pupillen sind gleich weit (4,0) und frei beweglich, die RE ist links normal, rechts herabgesetzt.« Oder:

»Isokorie (4,0) RE L. n., R. <« (vgl. die Fußnote zu § 13). Ferner:

»Die Pupillen sind ungleich, die kleinere, linke (3,0) ist frei beweglich (w. V. u. E. beider Augen sowie akk.), die größere, rechte (4,0) reagiert nicht beim w. V. u. E. beider Augen, wohl mit der Akk., ist also reflektorisch starr. Die linke reagiert auch beim w. V. u. E. jedes einzelnen Auges gut: die RE jedes Auges ist also normal.« Oder:

»Pupillen ungleich, linke kreisrund (3,0) und frei beweglich, rechte queroval (5,0 : 6,0) und absolut starr. RE links aufgehoben, rechts normal.

(Denn die linke Pupille reagiert nur beim w. V. u. E. des rechten, nicht auch beim w. V. u. E. des linken Auges.)« Endlich:

»Pupillen ungleich (l. 6,0, r. 5,0) und vollständig unbeweglich. RE?«

Die Notizen über RE werden zweckmäßig neben denen von Sc untergebracht.

§ 31. Zur Frage: Sind die Pupillen normal weit? Gemeint ist bei Tageslicht und Akkommodationsruhe. Die Pupillenweite der meisten gesunden Menschen, wenn sie in das helle Tageslicht hineinsehen, schwankt innerhalb kleiner Grenzen, etwa zwischen 1,5 und 3 mm. Alter, Refraktion, Irisfarbe und Geschlecht machen dabei keinen wesentlichen Unterschied. Anders wenn der Untersuchte nicht in das Tageslicht, sondern in das Zimmer hinein oder mir, dem Untersucher, ins Auge blickt. Dann sind 4—5- oder selbst 6 mm-Pupillen keine Seltenheit, und zwar finden sich diese Maße vorwiegend — aber nicht ausschließlich — bei jugendlichen, sowie bei schwach- und kurzsichtigen Personen, bei letzteren aber wohl nicht als direkte Folge des Refraktionsfehlers, sondern vielmehr von begleitenden Umständen, wie von der entspannten Akkommodation, von Sehschwäche, erhöhtem Augendruck u. dgl.

Einen absoluten Wert für die Größe einer normalen Pupille, eine Normalweite, giebt es nicht. Die individuellen Verschiedenheiten der Pupillenweite sind so groß, dass wir z. B. kaum je in der Lage sein werden, bei einem Kranken mit einseitiger Reflextaubheit allein nach der bloßen Besichtigung der Pupillen auf die Störung der RE zurückzuschließen. Auch die Pupille des Einäugigen imponiert uns meist nicht als abnorm weit.

Aus alledem folgt, dass die Frage »Sind die Pupillen normal weit?« selten ohne weiteres mit ja oder nein beantwortet werden kann.

Am besten hilft man sich damit, dass man da, wo es not thut, der Antwort auf die nächste (Unter-) Frage eine Angabe über die Weite in Millimetern in Klammer hinzufügt.

§ 32. Zur Frage: Sind die Pupillen gleich weit? Bejaht werden darf die Frage nur nach Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen, wenn dabei ein Unterschied in der Weite beider nicht hervorgetreten ist. Verneint werden kann sie eventuell schon nach der bloßen Besichtigung der Augen.

Bei Pupillendifferenz ist eine Angabe über die Weite in Millimetern immer erwünscht, jedenfalls aber muss immer gesagt werden, welche Pupille größer und welche kleiner ist. Im übrigen vgl. § 54.

§ 33. Zur Frage: Sind die Pupillen kreisrund? Normale menschliche Pupillen sind kreisrund oder doch annähernd kreisrund und bleiben so bei allen ihren Bewegungen. Unregelmäßige Rundung kann vorgetäuscht

werden durch ungleichmäßige Pigmentierung des Pupillarsaumes der Iris bei Ectropium iridis congenitum. Etwaige Zweifel löst ein Blick ins Auge mit dem Reflektor.

Künstlich kann man aus der kreisrunden eine länglichrunde Pupille machen durch einen Druck mit dem Finger gegen die Sklera in der Nähe des Hornhautrandes. Besonders leicht gelingt das bei eröffneter vorderer Augenkammer.

Mit unregelmäßiger Rundung ist immer eine gewisse Excentrizität der Pupille verbunden. Excentrische Lage einer kreisrunden Pupille (oder mehrerer Pupillen) wird nur als angeborene Anomalie beobachtet und ist ohne jede semiotische Bedeutung. Liegt doch auch die Pupille des Gesunden oft etwas excentrisch nach innen oder innen unten.

§ 34. Zur Frage: Oscillieren die Pupillen normal? Die Pupillen eines gesunden Menschen oscillieren, bei Licht besehen, immer, und sie müssen oscillieren, weil sie oscillieren. Denn diese scheinbar regellosen Schwankungen haben selbstthätig, auch bei gleichbleibender Außenbeleuchtung, einen ständigen Wechsel der Netzhautbeleuchtung zur Folge (wie auch zur Ursache).

Diese naheliegende, bereits von Himly und Ruete gegebene Erklarung (vgl. Budge 2, S. 169) scheint mir für die Oscillationen, wenigstens soweit sie mit bloßem Auge sichtbar sind, vollkommen auszureichen. Es bedarf nicht erst der Heranziehung anderer Momente, wie der psychischen und sensiblen Reize (Schadow 15, Laqueur 26, v. Forster[1] 31), der Schwankungen des Blutdrucks (Hensen und Völckers 3), des Einflusses der Adaptation (Steinach 40) und Respiration (Schmeichler 24) u. a.

Dass das Pupillenspiel im wesentlichen vom Licht abhängig ist, geht auch daraus hervor, dass es lebhafter ist bei guter, träger bei schwacher Lichtreaktion, also lebhafter bei jugendlichen, träger bei alteren Individuen, und bei ein und demselben lebhafter bei guter, trager bei schwacher Beleuchtung. Im Dunkeln fehlt es wohl vollstandig (? vgl. Cl. du Bois-Reymond 50). Bei Erhellung peripherer Netzhautstellen ist es weniger deutlich als bei Beleuchtung des Netzhautcentrums. Nur bei starker Blendung der Augen kann es durch einen reflektorischen Sphinkterkrampf mit unbeweglicher Miosis abgelöst werden. Die Oscillationen erfolgen auf beiden Augen gleichzeitig und gleichmäßig (wie die Lichtreaktion); bei Verdunkelung eines Auges oscilliert dessen Pupille doch noch konsensuell mit derjenigen des anderen (beleuchteten) Auges. Still steht die Pupille eines (blinden und) reflextauben Auges, wenn das andere, sehende, verschlossen gehalten wird, eine Thatsache, welche mehr als alle Laboratoriumsversuche die Abhängigkeit der Oscillationen vom Licht beweist.

§ 35. Zur Prüfung der Pupillenbewegungen.

Ob wir mit der Lichtreaktion oder mit der Konvergenzreaktion beginnen, ist ziemlich gleichgültig. Wir geben der Lichtreaktion den Vorzug, weil sie doch von beiden Bewegungen die wichtigere ist und man bei gut erhaltener

1 Später (1893) dachte v. Forster (51) anders über die Oscillationen.

Beweglichkeit auf Licht schon eher einmal — ohne Prüfung — gut erhaltene Konvergenzreaktion annehmen darf als umgekehrt. Prüft man zuerst die Konvergenzreaktion, dann die Lichtreaktion (durch wechselndes Verdunkeln und Erhellen beider Augen), so schließt sich die Prüfung der Reflexempfindlichkeit (durch w. V. u. E. jedes einzelnen Auges) besser an.

Die Lichtreaktion prüfen wir gewöhnlich, während der Untersuchte zum Fenster hinaus in das helle — aber nicht grelle, nicht blendende — Tageslicht (in Ermangelung dessen nach einer von künstlichem Licht erhellten Wand) blickt, und bewerkstelligen die Verdunkelung durch Vorhalten oder Auflegen unserer Hände.

Zweifel sind, wenn die Reaktion gut erhalten ist, kaum möglich, höchstens bei ganz mangelhafter Prüfungsmethode. Zur Lichtreaktion ist ein Lichtkontrast erforderlich; ein solcher ist aber nicht vorhanden, wenn wir einem ins helllichte Tageslicht blickenden Menschen ein glimmendes Streichholz vor die Augen bringen oder dgl. Eine reflektorische Erweiterung der Pupillen infolge der Berührung des Antlitzes durch unsere Hand ist nicht zu befürchten; man kann schon einen sehr derben Druck auf die Umgebung der Augen oder auf die Schläfen ausüben, ohne dass es zu einer Erweiterung der Pupillen kommt. Verwechselungen der Lichtreaktion mit der Konvergenzreaktion sind möglich, wenn wir die verdunkelnde Hand (oder eine dunkle Platte) dem Untersuchten in einiger Entfernung von seinem Gesicht vorhalten, oder wenn wir ihn selbst die Verdunkelung durch Schließen der Augen herbeiführen lassen. Bei dieser letzteren — nicht empfehlenswerten — Methode kann außerdem die Lidschlussreaktion zu Täuschungen Veranlassung geben. Bei schwer beweglichen Pupillen kann es passieren, dass die kurze primäre Verengerung über der längeren sekundären Erweiterung übersehen und eine »paradoxe Lichtreaktion« diagnostiziert wird (vgl. § 3). Vor Verwechselung der Lichtreaktion mit der Konvergenzreaktion schützt man sich durch Beachtung etwaiger Konvergenz- und Divergenzbewegungen, sowie des zwischen Beginn der Erhellung der Augen und Beginn der Zusammenziehung der Pupillen liegenden Zeitraumes, der immer $^1/_3$ Sekunde (Vintschgau 14) bis $^1/_2$ Sekunde (Ablt jun.) beträgt.

Viele ziehen es vor, im Dunkelraum mit konzentriertem oder reflektiertem Lampenlicht zu untersuchen. Sie brauchen so das Gesicht des Untersuchten nicht zu berühren, können aber schlecht beide Augen gleichzeitig erhellen. Die Pupillen von Conjunctivitiskranken sind oft, entsprechend der subjektiven Empfindlichkeit gegen Licht, verengt und nur wenig beweglich, auch wenn sie, bei Tageslicht geprüft, vielleicht noch gut reagieren. Zur Beobachtung sehr schwacher Reaktionen werden ebenso wie zum Studium der feineren Vorgänge bei der Pupillenbewegung (vgl. Laqueur 92) zweckmäßig Lupen gebraucht.

Eine eigene Lampe zur Pupillenuntersuchung wird von Saenger (81) empfohlen: Eine gewöhnliche Priestley-Smith'sche Lampe, bei der an Stelle des Lichtes eine elektrische Glühlampe und vor dieser ein photographischer Momentverschluss zur genauen Dosierung und Messung des Lichtes angebracht ist.

Zu grelles Licht (sonnigen Himmel, sonnbeschienene Flächen) vermeide man bei den Prüfungen. Alles was die Augen blendet, ruft auch gern einen reflektorischen Sphinkterkrampf hervor, der bei empfindlichen Augen auch nach kurzer Verdunkelung eines oder gar beider Augen noch anhalten und reflektorische Starre vortäuschen kann.

Auch manche Differenz in der Pupillenweite gleicht sich bei anhaltender Einwirkung grellen Lichtes aus, indem bei Sphinkterparese) die krankhaft erweiterte Pupille immer enger und schließlich ebenso eng wird wie die andere, normale Pupille, welche schon lange vorher ihr Kontraktionsmaximum erreicht hatte.

Wenn, in der gewöhnlichen Weise geprüft, jede Lichtreaktion zu fehlen schien, erreichen wir bisweilen noch ein positives Resultat durch Verschärfung des Lichtkontrastes: Statt ein paar Sekunden verdunkeln wir $^1/_2$ und 1 Minute oder lassen den Kranken $^1/_4$ Stunde lang — SAENGER ging bis zu mehreren Stunden — im Finstern sitzen, um ihn dann plötzlich von dem diffusen oder konzentrierten Tages- oder Sonnenlicht bestrahlen zu lassen. Besonders bei sehr darniederliegender RE habe ich auf diese Weise manchmal noch eine deutliche Lichtreaktion auslösen können, wo auf andere Weise, auch durch konzentriertes Lampenlicht, keine Verengerung zu erzielen war. Bei reflektorischer oder absoluter Pupillenstarre habe ich ein ähnliches Verhalten nie erlebt. Auch SAENGER (81) sah seine Erholungsreaktion der Pupillen ganz vorwiegend bei Hirnsyphilis und peripherer Opticuserkrankung, bei reiner Tabes nie, und glaubt, dass sie differentialdiagnostisch verwertbar sei. Auch die letzten Spuren subjektiven Lichtscheins werden zuweilen so entdeckt; einmal aufgestöbert, sind sie dann — ebenso wie die RE — auch mit den üblichen einfacheren Hilfsmitteln nachzuweisen (vgl. 25, S. 66 f.).

§ 36. Die Konvergenzreaktion prüfen wir in der Regel bei derselben Beleuchtung wie die Lichtreaktion, also bei Tageslicht. Richtiger und für zweifelhafte Fälle jedenfalls vorzuziehen wäre die Prüfung bei schwacher, eben noch zum Erkennen der Pupillengrenzen ausreichender Beleuchtung. Wie wir es ja auch für selbstverständlich ansehen, dass wir die Lichtreaktion bei entspannter Akkommodation prüfen. Wir lassen abwechselnd in die Ferne sehen und einen nahe, in etwa 20 cm vorgehaltenen Gegenstand, bei Blinden ihre eigene Hand oder Nase, fixieren und passen auf, dass währenddessen die Beleuchtung der Augen sich nicht, durch Senken der Lider u. dgl., ändere. Bei Personen mit schwer beweglichen Pupillen gelingt es zuweilen noch durch das wiederholte Kommando, Fest! das vorgehaltene Objekt zu fixieren, eine energische Konvergenzbewegung mit begleitender Pupillenverengerung zu erzwingen. Durch solche forcierte Konvergenz kann ebenso wie durch sehr starke Lichtkontraste eine vorhandene Pupillendifferenz zum Ausgleich gebracht werden. Auch dadurch, dass man die Kranken lesen lässt und ihnen währenddessen die Schrift näher bringt, gelingt es bisweilen, eine kräftige Pupillenkontraktion auszulösen. Sehr enge Pupillen werden mitunter freier beweglich, und zwar sowohl auf Licht wie mit der Konvergenz, wenn man sie durch Kokain erweitert.

Bei Menschen, welche nicht konvergieren und akkommodieren können (kleine Kinder, viele Geisteskranke und Blinde, schwer besinnliche Kranke u. s. w.) fehlt selbstredend auch die akkommodative PR und damit das einzige Merkmal zur Unterscheidung der absoluten von der reflektorischen Pupillenstarre.

Schwer bewegliche Pupillen, d. h. Pupillen, welche sich nur durch angestrengte Konvergenz zur Kontraktion zwingen lassen, verharren manchmal auffallend lange in dem Zustande der Kontraktion und erweitern sich danach nur sehr langsam wieder, ein Verhalten, welches von Strasburger und Saenger bei Paralytikern beobachtet und von Saenger (141) als myotonische Pupillenbewegung beschrieben wurde (vgl. auch Nonne 138 und Rothmann 155).

§ 37. Die Prüfung der Lichtreaktion gestaltet sich verschieden, je nachdem wir mittelst derselben die Funktion der centrifugalen oder die der centripetalen Pupillenfasern ermitteln wollen. Zu ersterem Zwecke müssen wir unbedingt beide Augen abwechselnd verdunkeln und erhellen. Nur so erhalten wir für den Grad der Lichtreaktion der rechten und linken Pupille vergleichbare Maße, weil nur so eine gleich große Kraft für die Auslösung der Verengerung jeder Pupille aufgewendet wird. Diese Kraft ist gleich der Summe des von beiden Netzhäuten mittelst der centripetalen Pupillenfasern den Sphinkterkernen zugeleiteten Lichtreizes; und diese Summe ist unter allen — normalen wie pathologischen — Verhältnissen für beide Sphinkterkerne gleich groß, weil jede Netzhauterregung sich beiden Sphinkterkernen mit gleicher Kraft mitteilt (weil die konsensuelle PR gleich der direkten ist).

Wollten wir die Beweglichkeit der Pupillen unter dem Einflusse des Lichtes durch w. V. u. E. jedes einzelnen Auges zu ermitteln versuchen, so würden wir leicht in verhängnisvolle Irrtümer verfallen, wie an zwei Beispielen gezeigt werden möge:

1. Bei einem Kranken mit gleich weiten Pupillen finden wir links Mangel der direkten Reaktion und diagnostizieren linksseitige (reflektorische Pupillenstarre, also eine Lähmung des (centrifugalen) Oculomotoriuszweiges für die Lichtreaktion. Es kann aber auch Reflextaubheit des linken Auges, etwa durch Neuritis optica, also eine centripetale Störung vorliegen.

2. Bei einem Kranken mit verschieden großen Pupillen wollen wir feststellen, welche von beiden am wenigsten beweglich ist, und vergleichen zu dem Zwecke die direkten Reaktionen miteinander. Die engere reagiert schwächer. Wir schließen auf ein Leitungshindernis auf der Seite mit der engeren Pupille. Der Schluss ist falsch oder doch verfrüht, wie leicht ersichtlich.

Ähnliche Irrtümer können nicht vorkommen, wenn wir behufs Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen (der Funktion der centrifugalen Pupillenfasern) stets beide Augen abwechselnd verdunkeln und erhellen. Auch Komplikationen von einseitiger (reflektorischer oder absoluter Pupillenstarre mit einseitiger Reflextaubheit werden der Diagnose niemals Schwierigkeiten machen, wenn die Lichtreaktion immer zuerst durch w. V. u. E. beider Augen geprüft wird.

§ 38. Die Beurteilung, ob die Pupillen normal beweglich sind, ist in der Regel leicht, besonders bei Isokorie. Dabei sind sie auch eo ipso *gleich* gut beweglich. Bei Anisokorie wird meist (immer?) auch ein Unterschied in der Beweglichkeit beider Pupillen vorhanden sein; derselbe ist aber nicht immer so ausgeprägt, dass er sofort in die Augen springt. Wenn *eine* Pupille normal weit und normal beweglich ist, (soweit das möglich ist,) so haben wir in ihr einen willkommenen Maßstab zur Beurteilung der anderen (pathologisch veränderten) Pupille. Wenn aber beide Pupillen ungefähr gleich gut reagieren, kann die Entscheidung, welche am wenigsten beweglich ist, schwer sein. Man prüfe richtig (w. V. u. E. *beider Augen*), vermeide zu lange anhaltende grelle Beleuchtung und zu forcierte Akkommodationsbewegungen und hüte sich vor Überschätzung der Reaktion einer weiten, Unterschätzung der Reaktion einer engen Pupille.

Wenn zwei Pupillen von 6 resp. 3 mm Durchmesser sich in der Zeiteinheit auf 3 resp. 1½ mm verengern, so ist die Flächenabnahme bei jener 4mal so groß als bei dieser, Grund genug, die Geschwindigkeit und den Umfang der Reaktion bei der weiteren Pupille zu überschatzen. Verlässlicher als das Augenmaß ist die gleichzeitige Fixierung des Bildes beider Pupillen mittelst der Momentphotographie bei verschiedener Beleuchtung $\left(\frac{a}{e}\right)$ und verschiedener akkommodativer Einstellung $\left(\frac{ar}{ap} \text{ und } \frac{er}{ep}\right)$ der Augen. Doch ist auch hierbei zu bedenken, dass es nur innerhalb gewisser Grenzen richtig ist, den Grad der Reaktion gleich dem Verhältnis zwischen Ausgangsweite und endgültiger Weite zu setzen.

§ 39. *Prüfung der Reflexempfindlichkeit der Augen.* Fanden wir bei Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen durch wechselndes Verdunkeln und Erhellen *beider* Augen eine deutliche Reaktion, sei es einer oder beider Pupillen, so wissen wir damit auch bereits, dass mindestens eines von beiden Augen reflexempfindlich ist. Ob beiden oder ob nur einem und eventuell welchem von beiden diese Eigenschaft zukommt, das erfahren wir durch w. V. u. E. jedes einzelnen Auges. Bei vorhandener RE werden die Pupillen ebenso oder ähnlich wie vorher reagieren, bei mangelnder RE werden sie jede Bewegung vermissen lassen.

Zum Nachweis der RE beider Augen genügt es, dass *eine* Pupille beweglich ist. Ihre direkte Reaktion beweist, dass das gleichseitige, ihre konsensuelle, dass das andere Auge die Fahigkeit besitzt, den Lichtreiz dem Reflexcentrum zuzuleiten, also reflexempfindlich ist.

Scheint bei dieser Prüfung (bei offenem zweitem Auge) die RE eines Auges zu fehlen, so prüfen wir — allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Pupille dieses Auges beweglich ist — seine RE bei festem Verschluss des zweiten Auges und verstärken eventuell den Lichtkontrast, ähnlich wie es zur Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen beschrieben ist

§ 35). Lässt sich auch so ein Lichtreflex nicht auslösen, so darf einseitige) Reflextaubheit diagnostiziert werden.

§ 40. Um zu entscheiden, ob die RE beider Augen gleich gut ist, vergleicht man bei Isokorie am bequemsten die konsensuellen Reaktionen beider Augen miteinander, jede natürlich als Maßstab für die RE des anderen Auges nehmend. Nur bei sehr darniederliegender RE beider Augen wird man die direkten Reaktionen jeweils bei Verschluss des anderen Auges miteinander in Parallele stellen. Bei Pupillenungleichheit wäre es ein Fehler, in derselben Weise vorzugehen. Dabei beobachtet man nur diejenige Pupille, welche am freiesten beweglich ist, ihre direkte Reaktion als Maßstab für die RE des gleichseitigen, ihre konsensuelle Reaktion als Maßstab für die RE des anderen Auges nehmend. Auch so wird man — gleich gute RE vorausgesetzt — die direkte Reaktion nicht genau gleich der konsensuellen finden, weil die größere Pupille mehr Licht einlässt als die engere.

Bei Isokorie und verschiedener RE beider Augen mag man das durch die Schätzung gewonnene Urteil über den Grad der RE durch Messung zu bestätigen suchen. Für a, a_2 und c wird man gleiche Werte für beide Augen finden (bezw. einsetzen dürfen (vgl. § 5)), während b, die physiologische Pupillenweite Schirmer's, bei einseitiger Reflextaubheit auf Seiten des reflexempfindlichen Auges $= c$ (c ist abnorm groß), auf Seiten des reflextauben Auges $= a$ (also abnorm groß) sein muss. Bei letzterem ist $\frac{a}{b}$, bei ersterem ist $\frac{b}{c} = 1$, d. h. nichts weiter, als es fehlt dort die direkte, hier die konsensuelle Lichtreaktion, jenes Auge ist reflextaub.

Bei Pupillendifferenz hat die Messung der Weite b keinen Wert.

Ist die RE eines Auges stark vermindert, so pflegt ein kräftiger, dasselbe treffender Lichtreiz wohl noch eine ausgiebige Pupillenkontraktion auszulösen; aber die Pupillen bleiben nicht lange verengt, sondern kehren schnell wieder zu ihrer ursprünglichen Weite zurück, auch wenn der Lichtreiz andauert, während sie bei Erhellung des gesunden Auges eng werden und eng bleiben. Marcus Gunn (132), welcher auf dieses Verhalten hinwies, nennt dasselbe »geradezu pathognomonisch für retrobulbäre Neuritis«, was um so wichtiger sei, als diese häufig als Initialsymptom der multiplen Sklerose auftrete. Es tritt das natürlich gleicherweise bei Isokorie wie — mutatis mutandis — bei Anisokorie zu.

Bei einseitiger Blindheit + Reflextaubheit kommt es vor (Freund 160), dass mit der konsensuellen Verengerung seiner Pupille der blinde Augapfel nach oben geht und umgekehrt, eine Bewegung, welche beim Gesunden vielleicht durch das Bestreben einfach zu sehen verhindert wird. Auch an die Ähnlichkeit mit der Schlafmiosis sei erinnert.

Erwiesen sich bei Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen durch wechselndes Verdunkeln und Erhellen beider Augen die Pupillen als reaktionslos, so wird es natürlich ein vergebliches Bemühen sein, durch wechselndes V. u. E. des einzelnen Auges eine Reaktion auslösen zu wollen.

§ 41. Die Prüfung der Reflexempfindlichkeit der Netzhautperipherie hat mit vielen Schwierigkeiten zu kämpfen. Gewöhnlich handelt es sich um hemiopische Gesichtsfelddefekte, und man wünscht zu wissen, ob die blinden Netzhauthälften reflexempfindlich sind oder nicht, d. h. ob durch isolierte Erleuchtung derselben ein Pupillarreflex ausgelöst wird oder nicht. Eine vollkommen isolierte Erleuchtung einzelner Netzhautteile ist aber nicht möglich. Immer werden, sobald das Pupillargebiet erhellt ist, auch andere sehende und reflexempfindliche Teile der Netzhaut erhellt: man wird also, auch bei (beabsichtigter) Erhellung von wirklich reflextauben Stellen, immer noch eine schwache PR eintreten sehen und soll nun entscheiden: Ist die PR bei Beleuchtung der blinden Netzhauthälfte schwächer als die bei Beleuchtung der sehenden Hälfte?

Diese Entscheidung ist schwer, weil die frei bewegliche Pupille eines reflexempfindlichen Auges uns zu unseren Untersuchungen nicht stille hält, sondern sich, schon ohne besondere Beleuchtung, in steter »Unruhe« befindet, einer Unruhe, die noch zunimmt bei Beleuchtung des Auges und bei Bewegungen des Auges, mögen diese durch die äußeren oder durch die inneren Augenmuskeln ausgeführt werden. Die akkommodativen Bewegungen sind ganz besonders gefährlich, denn durch sie kann unser Urteil in einer ganz bestimmten Richtung irre geleitet werden.

§ 42. Durch Haab (133) wissen wir, dass bei gesunden Personen, welche im Dunkelraum eine Weile vor sich hin gestarrt haben, zunächst die Pupillen weit werden. Fordert man nun eine solche Person auf, einer seitlich vor ihr stehenden, nicht zu hellen Lampenflamme, ohne die Blickrichtung zu ändern, ihre Aufmerksamkeit zuzuwenden, etwa durch die Frage: »Sehen Sie die Lampe?«, so sieht man in dem Augenblick, wo sie dieser Aufforderung nachkommt, eine Verengerung der Pupillen eintreten. Mag hier, wie Haab will, ein Reflex sui generis vorliegen, oder mögen die bekannten akkommodativen Mitbewegungen im Spiele sein (vgl. 79 und 150), Thatsache ist es, dass bei den meisten Menschen mit gut beweglichen Pupillen eine Verengerung eintritt, wenn ihre Aufmerksamkeit durch die seitliche Lichtquelle erregt wird.

Auch Hemianopen, bei welchen wir zwecks Prüfung der RE der einzelnen Netzhauthälften Licht bald von der sehenden, bald von der blinden Seite her ins Auge werfen, werden dem Licht unwillkürlich ihre Aufmerksamkeit zuwenden, wenn sie es sehen. Also wird bei ihnen schon aus

diesem Grunde die Pupille bei Beleuchtung der sehenden Netzhauthälfte stärker reagieren als bei Beleuchtung der blinden, und zwar gleichgültig, ob die Hemianopie durch Traktus- oder Kortexerkrankung bedingt ist.

Bei Patienten, welche durch wiederholte Gesichtsfeldaufnahmen geschult sind, oder welche es ohnedies verstehen, ihre Aufmerksamkeit auf den vor ihnen liegenden dunklen Raum konzentriert zu halten, wird dieses Plus von PR vermisst werden, wiederum gleichgültig, ob Traktus- oder Kortexhemianopie vorliegt. Wiederholte Perimetrie ist also eine gute Vorübung für die Prüfung auf hemiopische PR. Nach Henschen ist es für das Ergebnis der Pupillenprüfung auch nicht gleichgültig, ob die Grenzlinie zwischen erhaltenem und fehlendem Teil des Gesichtsfeldes senkrecht durch den Fixierpunkt zieht oder die bekannte Ausbuchtung nach der Seite des Defektes hin beschreibt.

§ 43. Eine möglichst isolierte Erhellung einer Netzhauthälfte erreichen wir wohl, wenn wir eine möglichst schwache Lichtquelle zur Beleuchtung benutzen, am besten wohl das mit dem Planspiegel reflektierte Licht einer kleinen Lampenflamme, eben ausreichend, um eben noch eine deutliche PR bei Beleuchtung der sehenden Netzhauthälfte auszulösen. Dieses reflektierte Licht noch durch eine Konvexlinse zu konzentrieren, ist wohl nicht zweckmäßig und erschwert die Beobachtung. Um die Miterhellung der Netzhautmitte möglichst zu vermeiden, wähle man recht peripher gelegene Stellen zur Beleuchtung, so zwar, dass in den blinden und sehenden Netzhauthälften gleich weit excentrische Partien vom Lichte getroffen werden, was unter Umständen, z. B. bei konjugierter Ablenkung der Augen, recht schwer sein kann. Die weitere Forderung, dass auch die Intensität des die beiden Netzhauthälften treffenden Lichtes die gleiche sei, lässt sich am besten bei bitemporaler Hemianopie erfüllen: es bedarf nur einer schwachen Drehung des Spiegels, um das eine Mal eine sehende Netzhauthälfte (in dem einen Auge), das andere Mal eine blinde Netzhauthälfte (in dem anderen Auge) zu erhellen. Bei homonymer Hemiopie lässt man ein Auge verdecken und schickt in das andere abwechselnd von rechts und von links her Licht, während der Kranke unverrückt geradeaus blickt und sich darin ja nicht durch das seitlich auftretende Licht beirren lässt. Ist ein Auge blind (und reflextaub), das andere halbblind (Chiasmaaffektion), so prüft man das letztere in derselben Weise, braucht aber das erstere natürlich nicht zuzuhalten.

Der möglichen Fehlerquellen bei Untersuchung auf hemiopische PR (partielle Reflextaubheit) sind also recht viele. Die wesentlichsten derselben, die Diffusion des Lichtes im Auge, die Oscillationen und mehr oder weniger willkürliche Bewegungen der äußeren und inneren Augenmuskeln, auszuschalten, steht nicht in unserer Macht. Auch die eigens zu dem Zweck erdachten

Instrumente von v. Fragstein und Kempner (99) und Hugo Wolff (120) dürften daran nichts ändern. Ob die direkte Durchleuchtung der Sklera (Stoewer 157) bessere Resultate zeitigen wird, muss die Zukunft lehren. Um sich möglichst vor Täuschungen zu bewahren, ist es ratsam, sich durch einen Unparteiischen — der nicht weiß, um was für einen Gesichtsfelddefekt es sich handelt — kontrollieren zu lassen. Durch den Haab'schen Reflex kann freilich auch dieser irre geführt werden.

Als eine ganz verwerfliche, Täuschungen geradezu provozierende Methode der Prüfung muss es bezeichnet werden, wenn man eine glimmende Kerze langsam von der defekten nach der sehenden Seite des Gesichtsfeldes hin bewegt.

Verhältnismäßig leicht ist die Untersuchung auf hemiopische PR bei bewusstlosen Kranken, weil bei ihnen die Haab'sche Aufmerksamkeitsreaktion keinen Anlass zu Täuschungen geben kann, und, aus demselben Grunde, bei beiderseitiger Blindheit mit erhaltener PR (RE); während schwer besinnliche Kranke mit einfacher (beiderseit.) homonymer Hemianopie einer seitlich in ihrem sehenden Gesichtsfeld auftauchenden Flamme mit unheimlicher Regelmäßigkeit ihre Aufmerksamkeit zuwenden werden, ein Umstand, an welchen man auch denken muss, wenn bei ein und demselben Hemianopen die RE der blinden Netzhauthälften bald erhalten, bald fehlend gefunden wird. — Bei einseitiger reflektorischer und absoluter Pupillenstarre, so z. B. auch beim Glaukom, lässt sich die RE der einzelnen Netzhautbezirke doch prüfen: man beobachtet dann die (konsensuellen) Bewegungen der Pupille des anderen Auges.

§ 44. Die Prüfung der Pupillensymptome bildet einen Teil der Funktionsprüfung des Auges und gliedert sich in dieselbe zweckmäßig in folgender Reihenfolge ein:

Stellung und Beweglichkeit der Bulbi.
Weite und Beweglichkeit der Pupillen.
Reflexempfindlichkeit der Augen.
Refraktion und Sehschärfe des einzelnen Auges.
Binokularsehen.
Akkommodation u. s. w.

Die bei jeder Prüfung zu beantwortenden Fragen können in folgende zwei zusammengezogen werden:

1. Sind beide Pupillen normal weit und frei beweglich?
2. Sind beide Augen normal reflexempfindlich.

Kann die erstere bejaht werden, so sind die centrifugalen, kann die zweite bejaht werden, so sind die centripetalen Pupillenfasern normal.

Die bisher übliche Fragestellung:

Reagieren die Pupillen direkt, konsensuell und akkommodativ gleich gut?« ist unzweckmäßig, wie aus dem früher Gesagten zur Genüge erhellen dürfte.

IV. Deutung der Pupillensymptome.

§ 45. Wenn wir die Pupillenerscheinungen in der oben beschriebenen Weise geprüft haben, verursacht ihre Deutung in der Regel keine großen Schwierigkeiten mehr. Wir haben festzustellen:

1. Ob die Pupillen normal sind oder nicht.
2. Wenn nicht, ob centrifugale oder centripetale Störungen vorliegen.
3. Bei centrifugalen Störungen, ob der Oculomotorius oder der Sympathicus betroffen ist.

Ausschlaggebend zur Beurteilung ist die Prüfung der Pupillenbewegungen. Abnorme Weite der Pupillen (Miosis und Mydriasis, Pupillendifferenz und Pupillendifformität) und abnorme oder mangelnde Oscillationen sind hauptsächlich insofern bedeutungsvolle Symptome, als sie schon bei der bloßen Besichtigung der Augen auffallen und die Gegenwart von Störungen im Bereiche der (centrifugalen oder centripetalen) Pupillenbahnen verraten, Störungen, über deren Wesen erst die Prüfung der Pupillenbewegungen näheren Aufschluss verspricht. Pupillendifferenz (und Pupillendifformität, welche ja so gut wie immer mit Pupillenungleichheit verbunden ist), ist immer ein Zeichen einer Läsion der centrifugalen Pupillenfasern, während Isokorie mit Wahrscheinlichkeit eine (primäre) centrifugale Störung ausschließt.

§ 46. Die Störungen der Beweglichkeit der Pupillen sind zu sondern in Oculomotorius- und Sympathicusaffektionen. Im allgemeinen ist darüber zu sagen, dass der Sympathicus nicht in Frage kommen kann

1. bei vollständiger Unbeweglichkeit (absoluter Starre einer Pupille);
2. bei reflektorischer Starre und reflektorischer Schwerbeweglichkeit einer Pupille;
3. bei akkommodativer Starre oder akkommodativer Schwerbeweglichkeit einer Pupille;

überhaupt immer, wenn eine von beiden Reaktionen (Licht- und akkommodative Reaktion) merklich besser erhalten ist als die andere. Ist dagegen eine Pupille absolut (d. h. sowohl auf Licht wie mit der Konvergenz) schwer beweglich, so mag die Sache zweifelhaft sein, wenn auch hier der Oculomotorius doch die größere Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Endlich: wenn (bei Pupillenungleichheit) beide Pupillen gleich gut zu reagieren scheinen, sowohl auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) wie mit der Konvergenz, so darf ernstlich an den Sympathicus gedacht werden. In

solchen Fällen ist den Begleiterscheinungen das größte Gewicht beizumessen. Ptosis, Enophthalmus, Hypotonie auf seiten der engeren Pupille würden für den Sympathicus, Ptosis sowie Akkommodationsschwäche auf seiten der weiteren Pupille — ein nach meinen Erfahrungen sehr häufiges Vorkommnis — würden für den Oculomotorius den Ausschlag geben; ebenso Doppeltsehen.

Normale Pupillen.

§ 47. Dies vorausgeschickt wenden wir uns zur Besprechung der einzelnen Pupillenerscheinungen, wie sie uns bei der Prüfung entgegentreten können.

Oft sind wir schon nach der bloßen Besichtigung der Pupillen im stande, dieselben für »wahrscheinlich normal« zu erklären. Wenn sie nicht übermäßig eng oder weit (etwa 2—6 mm), dabei gleich weit sind und ausgiebig oscillieren, so wissen wir, dass sie frei beweglich, also die centrifugalen Pupillenfasern normal sind, sowie dass die RE mindestens eines Auges erhalten, also dessen centripetale Leitung normal ist. Nur eine etwaige einseitige Reflextaubheit wird sich schwerlich durch mäßige Erweiterung der Pupillen genügend verraten, sondern erst bei Prüfung der RE, durch w. V. u. E. jedes einzelnen Auges, offenbar werden. Fehlen der Konvergenzreaktion dürfte bei gleich weiten und gut oscillierenden Pupillen kaum vorkommen.

Abnorm weite Pupillen.

1. Abnorm weite, dabei gleich weite Pupillen.

§ 48. Bei Isokorie können beide Pupillen normal weit oder beide abnorm weit sein, aber nicht die eine normal, die andere abnorm. Die Ursache der Abnormität ist immer (oder doch so gut wie immer) in den centripetalen Pupillenbahnen zu suchen; Isokorie schließt mit größter Wahrscheinlichkeit eine primäre Erkrankung der centrifugalen Pupillenbahnen aus (vgl. § 20).

a) Krankhaft verengte, dabei gleich weite Pupillen.

Man unterscheidet eine spastische, durch Reizung des Oculomotorius bedingte, und eine paralytische, durch Lähmung des Sympathicus bedingte Miosis. Bei der paralytischen Miosis sind die Pupillen in jeder Beziehung, auch bezüglich der Oscillationen, frei beweglich, bei der Miosis spastica sind sie schwer beweglich und oscillieren wenig oder gar nicht mehr. Die höchsten Grade der Miosis (1 und weniger mm) werden nur beim Spasmus des Oculomotorius beobachtet. Dadurch sind die beiden Formen der Miosis leicht voneinander zu unterscheiden. Andere gute Merkmale zur Unterscheidung beider — abgesehen von etwaigen Begleitsymptomen — giebt es nicht.

»Fehlen der Schmerzreaktion bei sonst guter Beweglichkeit der Pupille gilt als das Charakteristikum der reinen Miosis paralytica« (MÖBIUS 64, S. 142). Aber erstens ist die Schmerzreaktion überhaupt kein konstantes Phänomen beim Gesunden, zweitens fehlt sie auch bei der spastischen Miosis in der Regel, drittens ist sie bisweilen (vgl. z. B. NIEDEN 22) bei der Miosis paralytica vorhanden. Mit ihr ist also nichts anzufangen.

Die Miotica und Mydriatica lassen ebenfalls oft im Stich. Theoretisch richtige Forderungen werden durch die Praxis nicht bestätigt. Wir sind nicht Herr darüber, dass von zwei in zwei Augen eingeträufelten Tropfen der eine genau so groß ist wie der andere, noch weniger darüber, dass von dem einen genau so viel zur Resorption gelangt wie von dem anderen. Fällt also bei vergleichenden Versuchen die Wirkung auf beiden Augen verschieden aus, so kann die Ursache davon ebensowohl in einer ungleichmäßigen Aufnahme des Mittels wie in den anatomischen Verhältnissen des Auges gelegen sein. Bei den diesbezüglichen Schlussfolgerungen ist also Vorsicht geboten.

Wird eine krankhaft verengte Pupille durch Eserin (oder Pilokarpin) leicht noch enger, so handelt es sich wahrscheinlich nicht um spastische Miosis.

Erweitert Kokain, 2—4prozentig, wiederholt eingeträufelt, eine enge Pupille gar nicht, so darf paralytische Miosis ziemlich bestimmt angenommen werden; erweitert es sie gut, so liegt wahrscheinlich spastische Miosis vor. Atropin — von welchem man übrigens bei arbeitsfähigen Patienten nicht gern Gebrauch machen wird, es sei denn bei sehr engen Pupillen, bei welchen es die Sehschärfe zuweilen verbessert — ist weniger zuverlässig. Es bewirkt bei beiden Formen der Miosis eine nur unvollkommene Erweiterung. Diese Erweiterung bleibt bei der paralytischen (spinalen) Miosis zuweilen lange, bis 4 und 5 Wochen, bestehen (SCHMEICHLER 17), bei der spastischen Miosis bildet sie sich gewöhnlich schnell, im Verlauf von wenigen Tagen, zurück. Äußere Umstände mögen hier öfter mit von Einfluss sein: ob der Kranke seine Augen anstrengt oder ob er unthätig im Dunkeln sitzt u. s. w. — Es bleibt abzuwarten, ob diese Sätze einer kritischen Nachprüfung standhalten werden (vgl. dazu COPPEZ 151).

§ 49. Miosis paralytica, neben Isokorie, entsteht — nach allgemeiner Annahme — dadurch, dass die Übertragung aller sensiblen und sensorischen Reize auf den Sympathicus aufhört.

Die Miosis bei Rückenmarkskrankheiten, welche gewöhnlich als paralytische gedeutet wird —, ein Standpunkt, den z. B. auch SCHWARZ und LIEBRECHT vertreten — findet sich aber oft bei Kranken zu einer Zeit, wo die Sensibilität und das Sensorium noch intakt sind. Sie ist außerdem häufig mit ein- und beiderseitiger reflektorischer und absoluter Schwer- und Unbeweglichkeit der Pupillen verknüpft, lauter Affektionen, welche sich nur aus Läsionen des Oculomotorius erklären lassen. Soll man trotzdem, wie es nach dem Vorgang ERB's allgemein geschieht, an der Auffassung der Miosis als einer paralytischen festhalten und Komplikationen seitens des Oculomotorius annehmen, oder soll man lieber auch die Miosis auf eine Oculomotoriuserkrankung (-reizung) zurückzuführen suchen? Zu denken wäre an folgendes:

Eine Miosis spastica könnte reflektorisch bedingt sein, analog der Lichtreaktion, oder synergisch, wie die Konvergenzreaktion. Der ersteren begegnen wir — neben Isokorie — bei allen lichtscheuen Kranken. Neben erhöhter subjektiver Lichtempfindlichkeit einher geht eine erhöhte objektive Lichtempfindlichkeit oder Reflexempfindlichkeit und als Ausdruck davon enge, auch bei Beschattung wenig sich erweiternde Pupillen[1]. Die letzteren sind gleich weit, auch wenn die centripetale Reizung nur einseitig sein sollte, analog der Isokorie bei einseitiger Reflextaubheit. Am reinsten dürfte diese Form der Miosis spastica sich finden bei der einfachen Hyperämie und bei frischen entzündlichen Prozessen im Sehnerven, so auch im ersten Stadium der Intoxikationsamblyopien. Der Gedanke liegt sehr nahe, dass auch die sogenannte Miosis spinalis einer solchen centripetalen Reizung im Sehnerven ihre Entstehung verdankt, wenn auch bezüglich der Ursache der Sehnervenreizung nicht immer etwas Bestimmtes zu ermitteln ist. In Betracht kommen die verschiedenen kulturellen Schädlichkeiten (Alkohol, Überfunktion, abnorme sexuelle Erregungen) und — mehr als disponierendes Moment — eine abnorme Blutmischung, eine Dyskrasie, als deren Ausdruck wohl die »rudimentär-syphilitischen Veränderungen« gelten können, die sich nach ANTONELLI (s. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1902, II, S. 356) bei Tabikern oft auf dem Augenhintergrunde finden.

In einem Falle von fast ohne subjektive Symptome verlaufender Tabes mit Miosis und reflektorischer Starre fand ich chorioretinitische Herde, die vielleicht als Ursache der Pupillenveränderungen aufzufassen waren. Herm. Kn., geb. 1852, hatte nie eine Entzündung an den Augen, war überhaupt nie krank gewesen; nur einmal als Soldat 8 Tage revierkrank wegen eines Schankers, der unter grauem Pflaster heilte und niemals eine andere Medikation erforderte. Patient klagte mir 1898, dass er mit dem linken Auge nicht ganz so gut sehe wie mit dem rechten; er sehe einen Fleck vor dem linken Auge; S. war für Ferne und Nahe (10″) jederseits normal ($^5/_6$); links nicht ganz so gut wie rechts. Die Pupillen waren eng, reflektorisch starr; der Spiegelbefund war rechts normal; links waren mehrfache Anomalien: erstens ein heller Hof um die ganze Papille herum, etwa $^1/_2$—$^2/_3$ Papillen breit, schmutzig gelb gefärbt, die Fläche und der Rand mit einzelnen kleinen, an Knochenkörperchen erinnernden, schwarzen Pigmentkörnchen bedeckt; keine scharfe Grenze gegen die Peripherie. Ähnliche Pigmentkörnchen, jedoch auf normalem Grunde, sah man central in der Gegend der Makula, sowie zwischen dieser und der Papille und unterhalb der Papille, längs einer Netzhautarterie. Kein Patellarreflex. Patient taumelt beim Stehen mit geschlossenen Augen, sowie bei dem Versuch, über den Strich zu gehen.

1902 suchte Patient mich wieder auf, nur um sich eine Lesebrille zu holen. Er fühlte sich im allgemeinen vollständig wohl, arbeitete wie ein gesunder Arbeiter täglich seine 10 Stunden und klagte nur auf Befragen über zeitweise rheumatische Schmerzen in den Beinen. Fuß vor Fuß über den Strich gehen konnte er jetzt ziemlich gut. Der Kniereflex war nicht hervorzubringen, auch nicht bei JENDRASSIK. S war links = $^6/_{12}$ teilweise, mit — 0,75 subj.

[1] Nicht, wie vielfach angegeben wird, abnorm lebhaft oscillierende Pupillen.

entschieden besser, = $^6/_{12}$ meist; rechts = $^6/_{18}$, Gl. b. n., Akk. dem Alter entsprechend. Pupillen 2,0, auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) nicht reagierend, mit der Akkommodation deutlich sich auf etwa 1 mm zusammenziehend. Nach Kokain werden sie weiter und zeigen jetzt eine zwar schwache, aber zweifellose, an die paradoxe Reaktion erinnernde Lichtreaktion.

§ 50. Die synergische Form der Miosis spastica muss sich bei jedem Akkommodations- und Konvergenzkrampf finden; so besonders bei Hysterischen, ferner neben den krampfhaften Akkommodationsbewegungen, welche eingeleitet werden müssen, wenn ein Mensch mit beiderseitiger (syphilitischer?) Akkommodationslähmung dieser seiner Lähmung zum Trotz das Sehen für die Nähe erzwingen möchte. Die abnormen Innervationsimpulse, welche zur Überwindung der in die akkommodative Leitung eingeschalteten Widerstände aufgeboten werden, müssen sich auch der Nebenleitung — für die akkommodative PR — mitteilen, und diese wird darauf mit einer um so energischeren Pupillenverengerung antworten, je unversehrter sie selbst ist. Ist die ganze Pupillenbahn des Oculomotorius beiderseits normal, so muss hochgradige Verengerung der (gleich weiten) Pupillen resultieren; ist die Pupillenbahn einer Seite im ganzen oder ist nur einer ihrer beiden Komponenten, an der Akkommodationslähmung teilnehmend, paretisch oder paralytisch, so wird die Pupille dieses Auges weit bleiben und nur die andere eng werden.

Die reflektorische Starre scheint zur Miosis zu disponieren. Es folgt dabei nicht, wie beim Gesunden, jeder akkommodativen Verengerung eine sekundäre Erweiterung (Lichtreaktion) auf dem Fuße, sondern die akkommodativ verengte Pupille bleibt eng, bis die Akkommodation selbst nachlässt, dann erst wird sie langsam wieder etwas weiter; eine große Tendenz, wieder weit zu werden, wohnt ihr aber offenbar nicht inne; das beweisen die Beobachtungen (Strasburger, Saenger, Nonne § 36), in welchen die Pupille bis 5 Minuten verengt blieb und die darauf folgende Erweiterung bis 10 Minuten dauerte. Ob hier nicht die Übergänge zur Miosis vorliegen?

§ 51. Wenn die oben vertretene Ansicht richtig ist, wird es verständlich, dass die Miosis mehr bei Tabikern vorkommt als bei Paralytikern, weil die letzteren nichts lesen; die synergische Form der Miosis muss sich in höchsten Graden bei Hyperopen (ohne Brille), doch vielleicht auch bei stark konvergierenden Myopen finden. Dabei werden die geeigneten sphärischen Gläser, bei der reflektorisch angeregten Form werden dunkle Gläser Minderung der Miosis und Linderung etwaiger Beschwerden bringen. Eine durch Kokain erweiterte miotische Pupille wird eventuell, bei Aufenthalt im Dunkeln und bei Vermeidung jeder Akkommodation, weit bleiben. Umgekehrt kann bei fortgesetzten akkommodativen Bemühungen eine paretisch-erweiterte Pupille wohl schließlich enger werden als ihre nicht gelähmte, normal bewegliche Partnerin.

Die Thatsache, dass bei einseitiger reflektorischer Starre die lichtstarre Pupille nicht immer die weitere ist, besonders wenn man sie im Halbdunkel beobachtet, ist auch anderen aufgefallen. LEVINSOHN (114) nimmt zur Erklärung — unter Verweis auf DUFOUR und LYDER BORTHEN — eine Zweiteilung des Sphinkterkernes an, neben Ausfall der Zellen des einen — für die Lichtreaktion —: Reizung des anderen — für die Konvergenzreaktion. SCHWARZ (105) rekurriert auf ERB und will die reflektorische Starre durch einen Herd in der Gegend der MEYNERT'schen Fasern (in der »Centralstrecke der Lichtreflexbahn«), die Miosis durch einen zweiten, in den Hintersträngen des Halsmarks, erklären. SALOMONSOHN (142) nimmt in seinem Falle von Miosis (2,0) mit reflektorischer Starre Dilatatorparese als Ursache an.

§ 52. Die Schlafmiosis sei hier anhangsweise mit erwähnt. Im gesunden, normalen Schlaf sind die Pupillen nach dem übereinstimmenden Zeugnis vieler Autoren eng, um so enger, je tiefer der Schlaf (RÄHLMANN und WITKOWSKI). Sie reagieren noch auf Licht. Im ruhigen Chloroformschlaf sind sie mittelweit, eher etwas verengt, wegen der meist intensiven Beleuchtung, eventuell auch infolge von Reizung durch Chloroformdämpfe. Sie reagieren gut auf Licht (w. V. u. E. beider Augen); sind also im Dunkeln vermutlich weit und werden erst beim Übergang des Chloroformschlafes in den normalen Schlaf wieder eng. (Ob auch im Dunkelraum?) Die Pupillen eines gesunden Menschen im Schlafe zu beobachten, gelingt leider selten. Potatoren ausgenommen, die aber schon im Wachen meist enge Pupillen haben, wegen ihres Bindehautkatarrhs und ihrer Sehnervenhyperämie. Die Thatsache, dass Tiere im Winterschlaf weite Pupillen haben (vgl. BUDGE 2, S. 171), legt den Gedanken nahe, dass die Schlafmiosis beim Menschen, die ja gewöhnlich als paralytica, infolge Wegfalles der sensiblen Reize, gedeutet wird, einer Reizung der centripetalen Pupillenfasern durch das zur Beobachtung notwendige Licht ihre Entstehung verdanke, also nichts weiter sei als eine reflektorisch angeregte Miosis spastica. Die Reflexempfindlichkeit der Augen des schlafenden Menschen ist normal erhalten, wenn nicht, durch den Aufenthalt im Dunkeln, erhöht, die des im Winterschlaf liegenden Murmeltieres ist aufgehoben, daher dort enge, bewegliche, hier weite, reaktionslose Pupillen. So erklärt sich wohl auch die plötzliche Erweiterung der Pupillen des Menschen in der Narkose im Moment des Todes am einfachsten als Lähmung der RE. Für den später, nach dem Tode, eintretenden Nachlass der maximalen Pupillenerweiterung dürfte das Sinken des inneren Augendruckes verantwortlich zu machen sein.

b) Krankhaft erweiterte, dabei gleich weite Pupillen.

§ 53. Krankhaft erweiterte, dabei gleich weite Pupillen finden sich:

1. Bei Lähmung der centripetalen Pupillenfasern im Nervus und Tractus opticus, also bei ein- und beiderseitiger Reflextaubheit. Der Ausdruck

Mydriasis paralytica für diesen Zustand wird besser vermieden wegen seiner Zweideutigkeit.

2. Bei Reizung der zuführenden sensiblen Nervenbahnen des Nervus sympathicus — Mydriasis spastica. Nicht jede Mydriasis ex anaemia iridis braucht als spastische gedeutet zu werden. Ist die Anämie der Iris nur Teilerscheinung einer allgemeinen oder einer nur cerebralen Anämie, so genügt das mechanische Moment der Blutleere zur Erklärung der Mydriasis An eine Reizung des Nervus sympathicus wird man in der Regel nur dann denken, wenn noch andere Symptome darauf hinweisen.

3. Ausnahmsweise wohl auch einmal bei beiderseitiger Oculomotoriuslähmung (vgl. § 20).

Die Unterscheidung zwischen diesen drei Zuständen ergiebt sich aus der Prüfung der Pupillenbewegungen.

Weite und bewegliche Pupillen — meist als Mydriasis spastica gedeutet — finden sich vorwiegend bei sensiblen, erethischen, hysterischen Personen, bei Anämien aus jeglicher Ursache — die Helminthiasis wird mit Vorliebe genannt —; sodann bei Aufregungszuständen, bei Maniakalischen u. a. Miosis bei Manie spricht für Paralyse. Auch während der Wehen und sonstigen heftigen Schmerzanfälle sind die Pupillen meist weit. Weite und starre Pupillen finden sich im Koma. Ausgenommen ist das Koma bei Morphium- und Opiumvergiftung, für welches minimale, stecknadelkopfgroße Pupillen charakteristisch sind. Enge Pupillen im Coma apoplecticum gelten als pathognomonisch für eine Brückenläsion. Außerdem ist bei Komatösen mit engen Pupillen daran zu denken, dass die Miosis, durch eine organische Läsion, z. B. durch Tabes, bedingt, schon vor Eintritt des Koma bestanden haben kann (Möbius 64, S. 141).

Im epileptischen und hysterischen Anfall sind die Pupillen weit, oft maximal weit, dabei im epileptischen immer, im hysterischen oft reaktionslos.

2. Abnorm weite, dabei ungleiche Pupillen.

§ 54. Ungleich weite Pupillen sind immer abnorm weit. Daher ist »Pupillenungleichheit« keine fertige Diagnose (so wenig wie etwa »Schielen«), sondern es ist dabei in jedem Falle ausfindig zu machen:

1. Welche von beiden Pupillen krankhaft verändert ist (oder ob es beide sind oder etwa keine von beiden).

2. Ob eine Oculomotorius- oder Sympathicusaffektion der Größenveränderung zu Grunde liegt.

Die erste von beiden Fragen ist immer zuerst zu stellen und — wo möglich — zu beantworten. Dafür ist niemals die absolute Weite der Pupillen maßgebend.

Von den beiden Pupillen eines Kranken messe die eine 1,5, die andere 3,0 mm, da läge die Versuchung sehr nahe, die erstere ohne weiteres für die krankhaft veränderte zu halten, aber es kann dabei sehr wohl auch die letztere (durch Sphinkterparese) erweitert und erstere sekundär (konsensuell) verengt sein, wie es bei krankhafter Erweiterung einer Pupille stets der Fall ist, vorausgesetzt,

dass die centripetale Pupillenleitung des primär erkrankten und die centrifugale Pupillenbahn des sekundär affizierten Auges erhalten ist. Diese sekundäre Größenveränderung braucht, weil selbstverständlich, nicht als pathologisch notiert zu werden; aber sie giebt gewiss oft zu diagnostischen Irrtümern Veranlassung, wenn man ohne weitere Prüfung eine Angesichtsdiagnose stellen möchte, oder auch, wenn man die Beweglichkeit der Pupillen falsch, durch w. V. u. E. jedes einzelnen Auges, prüft.

Anisometropie ist niemals Ursache von Anisokorie; höchstens indirekt, wenn Kurzsichtigkeit kompliziert ist mit Erhöhung des inneren Augendruckes u. dgl. Pupillendifferenz ist bei Anisometropie ebenso wie bei Isometropie ein Zeichen einer Erkrankung im Bereiche der centrifugalen Pupillenfasern.

Über die Bedeutung einer Pupillendifferenz (sowie von Pupillenstörungen überhaupt) werden wir selten im Zweifel sein, wenn wir zunächst die Augen in üblicher Weise, am besten nach einem bestimmten Schema (§ 44), fertig untersucht haben. Ergab sich bei Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen (ohne Anwendung übermäßiger Kontraktionsimpulse, vgl. § 35 und 36) ein deutlicher Ausfall auf einer Seite, so wissen wir, dass diese Pupille die krankhaft veränderte ist; das Nähere s. § 58. Erwiesen sich beide Pupillen als schwer- oder unbeweglich, so ist an verschiedengradige Lähmung des Sphincter pupillae zu denken oder auch an eine Mischform von Lähmung des einen und Krampf des anderen der beiden Komponenten des Ramus iridis n. III. (§ 24). Endlich, schienen beide Pupillen sowohl auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) wie mit der Akkommodation gleich gut zu reagieren, so ist aus dem Verhalten der Pupillen allein kein bestimmter Schluss zu ziehen und um so größeres Gewicht auf die B e g l e i t s y m p t o m e zu legen.

§ 55. In jedem Falle von Pupillenungleichheit (und in jedem Pupillenfall überhaupt) ist die Funktion desjenigen Muskels aufs genaueste festzustellen, der mit dem Schließmuskel der Pupille am nächsten verschwistert ist, d. i. des **M. ciliaris.**

Dazu gehören bekanntlich Patienten, welche nicht zu alt (nicht über 60 Jahre) sind, welche mit jedem Auge gut sehen und welche gut beobachten können. Bestimmt man bei einem solchen genau die Sehschärfe und Brechkraft jedes Auges und lässt mit der Fernbrille (bei über 45jährigen kombiniert mit einem schwachen Konvexglas) feinste Schrift möglichst nahe lesen, feinste Punkte zählen u. dgl., so wird man in einer erstaunlichen Zahl von Fällen Akkommodationsschwäche auf seiten der weiteren Pupille finden, als Beweis, dass Oculomotoriusparese vorliegt. Auf die absolute Weite der Pupille und auf die Größe der Differenz kommt es dabei, wie wiederholt betont werden möge, durchaus nicht an; eine (bei Tageslicht) 2,0 oder 2,5 mm messende Pupille kann doch an Sphinkterparese leiden, wovon ich mich wiederholt in unzweideutiger Weise überzeugen konnte. Die Akkommodation muss in jedem Falle von Pupillenungleichheit genau geprüft werden, auch dann, wenn zweifellos eine Sympathicusaffektion vorzuliegen scheint.

Bei der »springenden Mydriasis«, bei der ich wiederholt die Akkommodationslähmung in eklatanter Weise habe mitspringen sehen, besitzt die Prüfung der Akkommodation nicht nur diagnostische, sondern auch prognostische Bedeutung, weil wir in ihrem Verhalten einen viel zuverlässigeren Maßstab als in der Pupillenmessung haben, um zu beurteilen, ob der Krankheitsprozess im Vor- oder Rückschreiten begriffen ist; ob also z. B. das »Springen« dadurch hervorgerufen ist, dass zu einer leichten Parese auf dem einen Auge eine stärkere auf dem anderen hinzugetreten ist, oder dadurch, dass die Lähmung auf dem einen, schwerer erkrankten Auge geheilt, auf dem anderen sich gleich geblieben ist u. s. w. Die springende Mydriasis beruht, nach meinen Erfahrungen, meist (immer?) auf Oculomotoriuslähmung.

Akkommodationskrampf auf seiten der engeren Pupille spricht für Miosis spastica. Diese lässt sich künstlich durch Eserin erzeugen und findet sich, wie schon erwähnt (§ 51), bei allen erheblicheren Entzündungen eines Auges, ferner — ob mit oder ohne Akkommodationskrampf lasst sich wohl nicht immer feststellen — bei entzündlichen Prozessen an der Hirnbasis, also vor allem bei den verschiedenen Formen der Meningitis, sodann bei Encephalitis, bei Blutungen und Geschwülsten in der Nahe des Oculomotoriusstammes und des Sphinkterkernes, so lange die genannten Affektionen nur zu einer Reizung, nicht schon zu einer Zerstörung der Nervenelemente geführt haben. Der Eintritt des letzteren Ereignisses würde sich anzeigen durch den Übergang von Krampf der beiden inneren Augenmuskeln in Lähmung derselben. Daher gilt das Auftreten von Mydriasis paralytica an Stelle von Miosis spastica seit lange als Signum mali ominis bei Hirnkrankheiten (vgl. Baas 86, Schwarz 95).

Nächst dem Ciliarmuskel sind es die äußeren, vom Oculomotorius versorgten Augenmuskeln, einschließlich des Levator palpebrae, deren Lähmung in zweifelhaften Fällen für eine Sphinkterparese den Ausschlag giebt. Doppeltsehen ist nie Folge von Sympathicusaffektionen.

Ptosis, Enophthalmus, Hypotonie neben beweglicher Miosis ist der für Sympathicuslähmung charakteristische Symptomenkomplex. Dazu kommen zuweilen Änderungen in der Füllung der Gefäße, meist Hyperämie, öfter auch Hyperhidrosis auf der gelähmten Seite des Gesichtes. Die umgekehrten Erscheinungen deuten auf Sympathicusreizung. Einseitige Sympathicuslähmung, bald mit, bald ohne vorherige Reizung, wird bei den verschiedensten Affektionen des Hals- und Rückenmarks und seiner Nachbarorgane beschrieben.

Nach Analogie der Bahn für den Lichtreflex (II.—III.) dürfte Pupillendifferenz nur durch eine Läsion des centrifugalen Teiles des Reflexbogens, also hier des N. sympathicus selbst, nicht auch seiner zuführenden sensiblen Bahnen im Rückenmark entstehen. Sind die das Centrum ciliospinale superius und inferius verbindenden Nervenfasern als centrifugale oder noch als centripetale in unserem Sinne anzusehen? Dies, wie fast alles, was den Sympathicus angeht, ist zweifelhaft. Auch ist es wohl nicht ausgeschlossen, dass hinter dieser oder jener

Sympathicusreizung« eine Oculomotoriuslähmung sich verbirgt. — Vossius (131) sah bei Siderosis bulbi Mydriasis und denkt an eine chemische Reizung der dilatierenden Nervenfasern des Sympathicus durch das gelöste Eisen. Das wäre eine intraokulare Ursache der Mydriasis spastica. Fälle von springender Mydriasis spastica beschreiben Magnus (27) und Riegel (128). Auch der Fall von Gessner (123) gehört wohl hierher.

Ist bei Pupillendifferenz, auch bei längerer Beobachtung, weder ein Ausfall an Beweglichkeit nachzuweisen, noch ein Begleitsymptom aufzudecken, also auch in Fällen, wo wegen mangelnder Intelligenz u. s. w. die Funktionen nicht gehörig geprüft werden können, da muss die Diagnose zweifelhaft bleiben, wenn auch eine Oculomotoriusaffektion immer die größere Wahrscheinlichkeit für sich hat. Geringe Grade von Pupillendifferenz sollen bisweilen angeboren vorkommen und keine schlimme Bedeutung haben (Reche 55). Doch empfiehlt sich wohl Zurückhaltung mit der Annahme einer »physiologischen Pupillendifferenz« (Schaumann 156).

3. Unregelmäßig runde Pupillen.

§ 56. Unregelmäßige Rundung einer Pupille ist in der großen Mehrzahl der Fälle durch hintere Synechien bedingt, in zweiter Reihe durch andere intraokulare Ursachen: vordere Synechien, Iridodialyse, partielle Sphinkterlähmung (toxischen oder traumatischen Ursprunges), Einrisse in den Sphincter iridis, umschriebene Gewebsveränderungen der Iris, Geschwülste der Iris und des Ciliarkörpers, der Ader- und Netzhaut, kongenitale Anomalien u. a.

Nach Iritis kann sie auch ohne Synechien zurückbleiben (Terrien). Die Beweglichkeit der Pupillen pflegt bei allen genannten Affektionen so weit erhalten zu sein — bei hinteren Synechien, wenn sie nicht ringförmig sind, was sich oft nur mit Hilfe von Atropin oder wenigstens Kokain nachweisen lässt —, dass die Prüfung der Reaktionen doch noch möglich ist. Eine partielle Irislähmung durch Atrophie einzelner Ciliarnerven ist nach Philipsen (43) pathognomonisch für beginnendes Chorioidealsarkom in der Peripherie des Auges.

Sind intraokulare Ursachen auszuschließen, so mögen — in seltenen Fällen — intraorbitale in Frage kommen: Läsionen einzelner kurzer oder langer Ciliarnerven, vielleicht auch des Ganglion ciliare.

Im übrigen hat Pupillendifformität dieselbe semiotische Bedeutung wie Pupillenungleichheit, mit der sie ja auch fast immer verknüpft ist, nur dass sie, in lokaldiagnostischer Beziehung, entschiedener auf einen nuklearen Sitz hinweist. Meist ist sie wohl bedingt durch kleine Blutungen in dem Kerngebiet des Oculomotorius.

Nach Liebrecht's Vermutung (93) soll bei der Paralyse die Unregelmäßigkeit der Rundung der Pupille auf die Erkrankung der Hirnrinde zurückzuführen sein, in welcher nach ihm das primäre Dilatationscentrum der Pupille zu suchen ist.

Piltz (154) unterscheidet konstante und wechselnde Unregelmäßigkeiten des Pupillenrandes. Er bildet Fälle ab, wo die Pupille bei demselben Individuum einmal nach oben, einmal nach unten verzogen war, und nimmt wechselnde Lähmung einzelner Teile der Iris durch krankhafte Veränderungen in den betreffenden Pupillenfäden und Nervenkernen als Ursache an.

Schrameck (143) u. a. heben hervor, dass die Unregelmäßigkeit des Pupillarrandes dieselbe semiotische Bedeutung hat, wie das Argyll Robertson'sche Phänomen, dem sie bisweilen vorangehe.

Abnorme Pupillenbewegungen.

1. Abnorme Oscillationen.

§ 57. Die Oscillationen. Wer krankhafte Oscillationen erkennen und beschreiben will, muss die normalen Oscillationen kennen und die Unterschiede zwischen beiden hervorheben.

Unter »Hippus« verstehen die einen die normalen Oscillationen, andere das Übermaß der normalen Oscillationen (wo fängt das an?), noch andere alle krankhaften Oscillationen. Bei dieser Sachlage dürfte es am besten sein, das Wort ganz fallen zu lassen, um so mehr, als dasselbe bei den Alten etwas ganz anderes, nämlich »Augenzittern« bedeutete (Hirschberg).

Wenn das Pupillenspiel vom Licht abhängt (vgl. § 34), so muss es bei allen Personen mit guter Lichtreaktion vorhanden sein (es kann bei ihnen gar nicht fehlen) und muss bei mangelnder PR vermisst werden. Es muss also fehlen:

1. Bei ein- und beiderseitiger absoluter Pupillenstarre.
2. Bei ein- und beiderseitiger reflektorischer Pupillenstarre.
3. Bei beiderseitiger Reflextaubheit.
4. Bei einseitiger Reflextaubheit, wenn das zweite, reflexempfindliche Auge verschlossen gehalten wird.
5. Bei gesunden Augen im absolut finsteren Raume (wiederholte Momentphotographien).

Es scheint so zu sein.

In dem Mangel der Oscillationen bei den genannten Affektionen dürfen wir also an und für sich nichts Krankhaftes erblicken, sondern nur einen Hinweis auf die gröberen Störungen der Beweglichkeit der Pupillen und der Reflexempfindlichkeit der Augen.

Dagegen wären »rhythmische Zuckungen« der Pupille, wenn sie bei den genannten Zuständen, besonders bei der reflektorischen und absoluten Pupillenstarre, vorkommen, nicht mit den bekannten normalen Oscillationen zu identifizieren, sondern vielmehr vielleicht auf eine Stufe zu stellen mit den nystagmusartigen Zuckungen, wie wir sie bei Muskellähmungen, besonders häufig z. B. bei Abducenslähmung, eintreten sehen, wenn der gelähmte Muskel in Thätigkeit gesetzt werden soll. Auch Laqueur (11, S. 121)

sagt, dass der Hippus am häufigsten bei in Heilung begriffenen Oculomotoriuslähmungen und in Gemeinschaft mit Nystagmus (soll wohl heißen nystagmischen Zuckungen) beobachtet werde. FRANKE (90) sah das Phänomen bei völliger Lähmung eines N. oculomotorius, UHTHOFF (68) an einer fast lichtstarren Pupille, EWETZKY (71) bei beiderseitiger Amaurose (+ Reflextaubheit), DAMSCH (38) neben hemiplegischen Lähmungen mit sekundären motorischen Reizungen in den gelähmten Muskeln.

In dem Falle von RIEGEL (128) trat bei einem 32 jährigen Herzneurastheniker mit für gewöhnlich normal reagierenden Pupillen anfallsweise, oft 8—9 mal in einer Stunde, starke Erweiterung der rechten Pupille ein, die nach etwa ½ Minute zurückging. Dabei eigentümliche Empfindung, als ob die Erweiterung gefühlt würde. Der Fall nimmt also eine Sonderstellung ein und wäre vielleicht richtiger unter »springende Pupillen« zu rubrizieren, während umgekehrt der von BIELSCHOWSKY (149) als »eine besondere Art springender Pupillen« beschriebene wohl besser hier, unter »abnorme Oscillationen«, unterzubringen wäre.

2. Störungen der Beweglichkeit der Pupillen.

§ 58. **Die Störungen der Beweglichkeit der Pupillen.** Bei Prüfung der Beweglichkeit der Pupillen kann sich folgendes ereignen:

1. Die Pupillen sind gleich weit und reagieren gut, sowohl auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) wie mit der Konvergenz, so sind sie »frei beweglich« und die centrifugalen Pupillenfasern normal (vgl. § 47).

2. **Auf Licht** (w. V. u. E. beider Augen) reagieren die Pupillen gut, beim Konvergieren verengt sich nur eine, *A*, die andere, *B*, nicht, so ist *A* normal, *B* akkommodativ starr. *B* ist gleichzeitig etwas erweitert. Ursache wahrscheinlich Lähmung des Zweiges für die akkommodative PR auf Seite *B*.

3. Auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) reagieren beide Pupillen gut, mit der Konvergenz reagieren beide nicht (obwohl konvergiert wird). Diagnose: Doppelseitige akkommodative Starre, durch Lähmung des Zweiges für die akkommodative PR (vgl. SAMELSOHN 65).

4. **Auf Licht** (w. V. u. E. beider Augen) **reagiert nur eine Pupille**, *A*, die andere, *B*, nicht, mit der Akkommodation reagieren beide gut. So ist *A* frei beweglich, *B* reflektorisch starr. Ursache wahrscheinlich Lähmung des Zweiges für die Lichtreaktion auf Seite *B*, an irgend einer Stelle seines Verlaufes, central vom Ganglion ciliare.

In der Regel ist dabei die Pupille *B* mäßig erweitert, freilich nicht immer (vgl. die Anm. zu § 51).

5. Auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) reagiert nur *A*, *B* nicht, desgleichen mit der Akkommodation. So ist *A* frei beweglich, *B* unbeweglich oder starr (absolut starr). Ursache: Lähmung des ganzen Pupillenastes des N. oculomotorius an irgend einer Stelle seines Verlaufes vom Kern

einschließlich bis zum M. sphincter einschließlich; Sphinkterlähmung oder Ophthalmoplegie.

B ist gleichzeitig bedeutend (jedoch nicht maximal) erweitert; auch im Dunkeln erscheint sie noch mindestens ebensoweit wie *A*. Fast maximale Mydriasis findet sich bei peripher, z. B. durch Atropin oder Trauma bedingter Sphinkterlähmung; durch Kokain pflegt aber auch eine solche Pupille noch weiter zu werden. Bewirkt bei Sphinkterparalyse Eserin leicht Verengerung, so liegt (nach Spiro 96, Schwarz 106, Levinsohn und Arndt 125) die Ursache der Lähmung central vom Ciliarganglion.

Ausnahmsweise, jedoch seltener als bei der reflektorischen Starre, bei welcher als verengernde Kraft noch die akkommodative PR vorhanden ist, kommt es auch bei der (einseitigen) absoluten Starre vor, dass die unbewegliche Pupille nur mittelweit ist. Sie erscheint dann bei guter Beleuchtung größer, bei schwacher Beleuchtung kleiner als die andere, frei bewegliche Pupille; es wird also springende Mydriasis vorgetäuscht (W. König).

Veränderungen des Irisgewebes bei Mydriasis paralytica beobachteten Siegrist (129, S. 13) und Hirschberg (135). Siegrist bemerkte ein auffallend atrophisches Aussehen der (ganzen) Iris zweimal bei absoluter Pupillenstarre, bei der wir — nach seiner Meinung — den Sitz der Affektion in die Kerne verlegen müssen; bei reflektorischer Starre sah er ähnliches nie. Hirschberg beschreibt cirkumskripte atrophische (helle, graublaue, leicht vertiefte, rundliche Flecke) in der (braunen) Regenbogenhaut bei spezifischer Pupillenerweiterung. Auch Saenger und Wilbrand (vgl. 141) sahen bei den lichtstarren Pupillen von Tabikern und Paralytikern mittelst der Westien'schen Corneallupe Veränderungen im Irisgewebe (Abflachung und mangelhafte Zeichnung einzelner Teile des inneren Irisringes), die vielleicht mit schuld waren an der Difformität der Pupille.

6. Auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) reagiert nur *A*, *B* nicht, mit der Konvergenz nur *B*, *A* nicht. So ist *A* akkommodativ starr, *B* reflektorisch starr (vgl. § 25 e).

7. Auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) reagieren beide Pupillen nicht, mit der Akkommodation reagieren beide. So diagnostizieren wir nicht ohne weiteres »reflektorische Pupillenstarre«, sondern zunächst »beiderseits mangelnde Lichtreaktion bei erhaltener akkommodativer PR« (Robertson's Phänomen), begnügen uns aber nicht mit dieser Aufzählung der Symptome, sondern suchen ausfindig zu machen, ob beiderseitige reflektorische Pupillenstarre (Lähmung der centrifugalen Pupillenfasern des N. oculomotorius) oder ob beiderseitige Reflextaubheit (Lähmung der centripetalen Pupillenfasern) vorliegt.

Aus Summierung von links- + rechtsseitiger Reflextaubheit oder von Reflextaubheit der beiden linken + Reflextaubheit der beiden rechten Netzhauthälften kann immer nur beiderseitige Reflextaubheit, niemals beiderseitige reflektorische Pupillenstarre entstehen.

Bei beiderseitiger Reflextaubheit sind die Pupillen kreisrund, sehr weit und gleich weit und reagieren mit der Akkommodation wenn

überhaupt akkommodiert wird) sehr prompt. Fast immer sind die Augen blind, die Sehnerven atrophisch.

Bei beiderseitiger reflektorischer Pupillenstarre sind die Pupillen öfter eng als weit infolge einer Komplikation?); sie sind gewöhnlich gleich weit, mitunter aber auch verschieden weit und nicht ganz regelmäßig rund. Akkommodativ reagieren sie in der Regel nicht spielend leicht wie bei der Reflextaubheit, sondern nur mit einiger Anstrengung. Übergänge zu akkommodativer Schwer- und Unbeweglichkeit (also absoluter Pupillenstarre) kommen vor. Sehvermögen und ophthalmoskopischer Befund sind in der Regel normal. Dafür ist die reflektorische Starre öfter mit akkommodativen und anderen motorischen Störungen vergesellschaftet.

Unter Berücksichtigung dieser Umstände wird die Unterscheidung zwischen beiderseitiger Reflextaubheit und beiderseitiger reflektorischer Pupillenstarre meist möglich sein.

Beiderseitige Reflextaubheit kann durch Aufhebung der centripetalen Pupillenleitung an irgend einer Stelle ihres Verlaufes begründet sein, also in beiden Sehnerven, im Chiasma, in den Traktus und den Vierhügeln (oder nach der früheren v. Bechterew'schen Ansicht im dritten Ventrikel?). Bei der letzteren Lokalisation brauchen Sehstörungen neben der Störung der RE nicht notwendig einherzugehen, wird aber, wegen der Nähe des Oculomotoriuscentrums, meist Pupillenstarre bestehen, neben der dann die Störungen der RE nicht mehr zu diagnostizieren sind.

Die Lokalisation der beiderseitigen reflektorischen Pupillenstarre hatte seit der Entdeckung des Symptoms durch Argyll Robertson (4) im Jahre 1869 mit vielen Schwierigkeiten zu kämpfen. In die Sehbahn glaubte man sie nicht verlegen zu dürfen, weil die Sehfunktion normal zu sein pflegte, in den N. oculomotorius nicht, weil die akkommodative PR erhalten war. Blieb die Vierhügelgegend übrig, in der man aber vergebens nach anatomischen Veränderungen suchte (vgl. dazu Bernheimer, dieses Handbuch, Bd. VIII, Kap. XI, Nachtrag II).

Mit der Annahme einer Zweiteilung des Ramus iridis n. III., welche, wie gezeigt, durch die Beobachtungen von einseitiger reflektorischer Pupillenstarre geradezu geboten erscheint, fallen die Schwierigkeiten weg und liegt, wie mir scheint, kein Grund mehr vor, die Ursache der beiderseitigen Starre nicht ebenso wie die der einseitigen dahin zu verlegen, wohin sie naturgemäß gehören: in den N. oculomotorius selbst. Sie muss, wie mir scheint, dahin verlegt werden aus ähnlichen Gründen, wie wir sie für die einseitige reflektorische Starre entwickelt haben (§ 24), weil die beiderseitige reflektorische Starre oft das Übergangsstadium von der einseitigen reflektorischen zu der beiderseitigen absoluten Starre (und umgekehrt) darstellt.

Näheres über die Lokalisation lässt sich zur Zeit nicht sagen. Ob, wie lange nach dem Vorgange MAUTHNER's angenommen wurde, die Kerngegend den Lieblingssitz der reflektorischen Starre bildet, oder ob auch der Stamm des Nerven, ob das Ganglion ciliare (MARINA) oder ob gar die periphere Ausbreitung des Nerven in der Iris mit in Frage kommt.

8. Auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) reagieren beide Pupillen nicht, mit der Akkommodation reagiert die eine, A, die andere, B, nicht. So kann es sich handeln um

a) beiderseitige reflektorische Starre neben akkommodativer Starre von B, oder, was vielleicht dasselbe ist, reflektorische Starre von A neben absoluter Starre von B — also eine rein centrifugale Läsion —; oder um

b) beiderseitige Reflextaubheit neben absoluter (oder akkommodativer) Starre von B, ein Symptomenbild, welches z. B. zu stande käme durch einen Tumor der Hirnbasis, welcher erstens den N. oculomotorius der Seite B, zweitens das Chiasma zerquetscht hätte.

9. Auf Licht (w. V. u. E. beider Augen) sowohl wie mit der Akkommodation reagieren beide Pupillen nicht, so sind beide (absolut) starr. Sie sind gleichzeitig weit. Ursache: Iridoplegie wie unter 5., nur beiderseits.

Ob eine auf Licht und akkommodativ vollkommen unbewegliche Pupille den Namen »absolut starr« verdient, ist neuerdings zweifelhaft geworden, nachdem GALASSI und GIFFORD, PILTZ und WESTPHAL gefunden hatten, dass eine derartige Pupille sich mitunter noch kräftig zusammenzieht, wenn die Patienten das betreffende Auge fest zukneifen (oder zuzukneifen suchen, während man es, durch Anpressen des Oberlides an den Augenbrauenbogen, gewaltsam offen hält). A. v. GRAEFE (1) kannte die Bewegung schon (vgl. MEYERHOF 137), verfolgte sie aber, wie es scheint, nicht weiter. KIRCHNER (112) benannte sie die »Lidschlussreaktion der Pupille«. Ob sie jetzt einen dauernden Platz unter den Untersuchungsmethoden des Auges behaupten wird? Ich habe bei im übrigen absolut starren Pupillen das Phänomen noch nicht gesehen, kann mir daher kein eigenes Urteil über dasselbe erlauben.

3. Störungen der Reflexempfindlichkeit der Augen.

§ 59. Die Störungen der Reflexempfindlichkeit der Augen sind im obigen (§ 58) schon zum Teil mit abgehandelt. Der beiderseitigen Reflextaubheit ist gedacht, auch erwähnt, dass neben beiderseitiger reflektorischer und absoluter Pupillenstarre die Störungen der RE nicht mehr sicher zu diagnostizieren sind.

Einseitige Reflextaubheit beweist, dass die centripetale Nervenleitung zwischen dem betreffenden Auge und dem Reflexcentrum unterbrochen ist. Es kann das, nach unseren heutigen Kenntnissen, nur auf der Strecke zwischen Bulbus und Chiasma (einschließlich) sein. Da die einseitige Reflextaubheit so gut wie immer mit Blindheit, und zwar mit

organischer, materieller, nicht nur funktioneller Blindheit des betreffenden Auges vergesellschaftet ist, so ist sie uns — auch bei normalem ophthalmoskopischem Befund — ein sicheres objektives Zeichen dafür, dass mit dem betreffenden Auge thatsächlich nichts gesehen wird. Auch wer mit dem Augenspiegeln nicht vertraut ist, darf allein auf dieses Zeichen hin einem angeblich einseitig blinden Menschen ruhig Glauben schenken.

Bei hysterischer Blindheit ist die RE erhalten, was bei dem psychischen Charakter dieser Sehstörung nicht zu verwundern ist. Knies (54) und Berger (46) geben allerdings an, dass zuweilen doch die RE aufgehoben ist. Bei der befundlosen Amblyopie Schielender habe ich öfters die RE deutlich vermindert gefunden. Nach O. Schirmer (84) sind die centripetalen Pupillenfasern gegen mechanische Kompression sehr viel widerstandsfähiger als die Sehfasern; von diffusen entzündlichen Prozessen werden sie etwa gleich stark affiziert; Reflextaubheit eines Auges würde also in zweifelhaften Fällen mehr für Entzündung sprechen.

Extrem selten scheint es vorzukommen, dass bei einseitiger Reflextaubheit das betreffende Auge noch etwas Lichtempfindung, besonders in seinen peripheren Netzhautteilen, sich bewahrt hat (vgl. § 18). Durch Trübungen der brechenden Medien wird die RE eines Auges niemals vollständig aufgehoben; bei grauem Star sind die Pupillen gewöhnlich, aber nicht einmal immer (O. Schirmer l. c.), etwas erweitert (Weite *c*), besonders bei sehr dunkel gefärbtem Star; aber sie reagieren auf Licht sogar auffallend gut, was wohl daher rührt, dass bei Belichtung des Starauges die Starmasse selbst leuchtend wird. So wird der vorher — bei Verdeckung des Auges — finstere Glaskörperraum plötzlich hell, und die völlig unversehrten Pupillenbahnen lösen, dem empfangenen kräftigen Reize entsprechend, eine ausgiebige und lebhafte PR aus. So erklärt sich wohl auch die scheinbar paradoxe Thatsache, dass man mitunter bei einseitiger Katarakt (und normalem zweiten Auge), wenn man im Dunkelraum durch von der Seite her reflektiertes oder konzentriertes Licht prüft, eine bessere Reaktion bei Beleuchtung des starblinden als bei Beleuchtung des guten Auges erhält. Reflextaubheit bei Katarakt oder sonstiger Medientrübung ist ein Beweis für das Vorhandensein einer Komplikation (totale Netzhautablösung, Sehnervenatrophie) und macht die Prognose natürlich, wenigstens bei längerem Bestand, absolut schlecht. Besteht die Reflextaubheit (neben Blindheit mit oder ohne Medientrübung) erst kurze Zeit, so kann Neuritis vorliegen und ist die Wiederherstellung des Sehvermögens nicht ausgeschlossen (vgl. Schweigger 18, Hirschberg 124).

Unbeweglichkeit einer (weiten) Pupille bei Katarakt ruft den Gedanken an ein Mydriaticum und eventuell an Glaukom wach, ist aber kein Beweis für

Blindheit des betreffenden Auges. Die Beobachtungen bei Glaukom[1]) haben wohl zu dieser, auch heute noch, besonders in Laienkreisen verbreiteten irrigen Ansicht geführt, als wäre eine »starre Pupille« (Mydriasis) ein Zeichen von Blindheit. Nicht Lähmung der centrifugalen, sondern Lähmung der centripetalen Pupillenfasern (der RE) pflegt neben Blindheit des betreffenden Auges einherzugehen.

Da uns bisher ein Wort zur Bezeichnung des jetzt durch »Reflextaubheit« ausgedrückten Begriffes fehlte und die langatmigen Umschreibungen des Thatbestandes — Fehlen der direkten PR bei Erhaltensein der konsensuellen u. s. w. — nicht jedermanns Sache sind, so segelt mancher Fall von Reflextaubheit in der Litteratur unter falscher Flagge. Statt »einseitige Reflextaubheit« wird oft gesagt: »einseitige reflektorische Pupillenstarre bei erhaltener konsensueller Reaktion«. Und die »beiderseitige Reflextaubheit« wird ganz allgemein unter die »beiderseitige reflektorische Pupillenstarre« mit einbegriffen.

Falls v. Bechterew mit seiner früheren Anschauung Recht gehabt hätte, könnte Reflextaubheit auch durch eine umschriebene Läsion der Seitenwand des dritten Ventrikels in dessen vorderem Teile oder zwischen diesem und dem Sehstiel entstehen, und zwar ohne gleichzeitige Sehstörung. Für die Fälle von einseitiger Reflextaubheit bei erhaltenem Sehvermögen würde sich daraus noch eine weitere mögliche Erklärung ergeben.

4. Störungen der Reflexempfindlichkeit der Netzhautperipherie.

§ 60. Halbseitige Reflextaubheit (hemiopische PR) wäre, wo sie über jeden Zweifel erhaben konstatiert ist (vgl. § 44 ff.), zur Sicherung der Lokaldiagnose von Störungen im Bereiche der Sehbahn zu verwerten. Bei Chiasmaläsionen (bitemporaler oder binasaler Hemianopie, Erblindung des einen neben temporaler Hemianopie des anderen Auges u. dgl.) bedarf es kaum der Prüfung der RE. Dagegen wäre Reflextaubheit zweier homonymer Netzhauthälften, weil ein sicheres Zeichen von Leitungsunfähigkeit der jene Netzhautteile versorgenden centripetalen Pupillenfasern, unter Umständen von großer differentialdiagnostischer Bedeutung, nämlich:

a) Bei gutem Sehen und gutem Gesichtsfeld, ein Beweis für Zerstörung der Meynert'schen Fasern dieser Seite und, bei gleichzeitiger reflektorischer oder absoluter Pupillenstarre, ein Beweis für nuklearen Sitz derselben.

b) Bei Halbblindheit (homonymer Hemianopie), ein Beweis für eine Traktusaffektion.

c) Bei Ganzblindheit beider Augen (und normalem Augenspiegelbefund), ein Beweis dafür, dass die Blindheit sich zusammensetzt aus einer homonymen kortikalen und einer homonymen Traktushemianopie (Wernicke).

---

[1]) »Hinc oritur duplex casus, quando in nonnullis cum visu mobilis iris persistit, in aliis immobilis fit cum caecitate.« Boerhave 1748; vgl. H. Snellen, Klin. Monatsbl. f. Augenheilk., 1891, S. 3.

Bei homonymer Hemianopie mit hemianopischer PR ist zu bedenken: 1. dass neben einer centralen Hemianopie eine komplizierende Traktusaffektion vorhanden sein kann, 2. dass ein centraler Herd zu descendierender Atrophie bis in den Traktus hinein führen kann, 3. dass ein Traktus durch Fernwirkung vorübergehend oder dauernd in Mitleidenschaft gezogen sein kann.

Disharmonie zwischen Reflexempfindlichkeit und Sehvermögen.

§ 61. Die erhaltene Reflexempfindlichkeit eines Auges beweist uns das Erhaltensein von funktionierenden Nervenfasern in dem Sehnerven, zwischen diesem Auge und dem Chiasma, und zwar zunächst nur das Erhaltensein von die RE vermittelnden Nervenfasern, sodann aber, indirekt — weil einseitige Blindheit bei erhaltener RE bisher nicht beobachtet ist (vgl. § 18 a) — auch das Erhaltensein von Sehfasern. Wo wir also:

1. Bei (angeblicher einseitiger Blindheit (und normalem zweiten Auge) die RE des blinden Auges erhalten und zumal gut erhalten finden, da liegt bewusste oder unbewusste Täuschung vor. Daher der große Wert der Pupillenprüfung zur Entlarvung der Simulation einseitiger Amaurose.

2. Bei beiderseitiger Erblindung (Paradigma: die urämische Amaurose) findet man öfter die RE erhalten. In reinen Fällen, in welchen wirklich jede Lichtempfindung erloschen, die Pupillen normal weit, die RE jedes Auges und jeder Netzhauthälfte gut erhalten ist, muss die Ursache der Blindheit central von den primären Opticusganglien, in der Gratiolet'schen Sehstrahlung oder im Hinterhauptlappen gesucht werden. Eventuell ist auch hier an Simulation zu denken. In anderen Fällen, in welchen die Pupillen, bei Tageslicht besehen, doch erweitert erscheinen (als Zeichen verminderter RE), auch das Sehvermögen vielleicht nicht ganz aufgehoben ist, hat die Annahme eines diffusen Prozesses, etwa allgemein vermehrten Hirndruckes, mehr für sich, bei welchem ja öfter die PR (RE) im Vergleich zu S. gut erhalten gefunden wird.

3. Bei Halbblindheit (homonymer Hemianopie) hat — das geben selbst sonst überzeugte Anhänger der Lehre von der hemiopischen PR (Schmidt-Rimpler 94, Schwarz 105, Salomonsohn 117) zu — der Nachweis erhaltener RE der blinden Netzhauthälften (der Mangel der hemiopischen PR) nicht dieselbe Beweiskraft für centralen Sitz der Hemianopie, wie sie der Reflextaubheit der blinden Netzhauthälften (der positiven hemiopischen PR) für den basalen Sitz innewohnt.

Die Reflexempfindlichkeit bei Farbenblindheit.

§ 62. Auch zum objektiven Nachweis der Farbenblindheit (und ihrer Simulation hat man die Prüfung der PR herangezogen. Moritz Sachs (56) hatte gefunden, und Abelsdorff (109) konnte es bestätigen, dass die Lichter verschiedener Wellenlangen hinsichtlich ihrer »motorischen Valenz« für den Pupillenreflex verschieden wirksam sind, so zwar, dass die Kurve der

iridomotorischen Wirksamkeit der spektralen Lichter übereinstimmend verläuft mit der Kurve der Helligkeit der Strahlen für das hell adaptierte Auge. Da diese Kurve nun für das partiell oder total farbenblinde Auge nicht den gleichen Verlauf hat wie für das normale, so war zu erwarten und so zeigte es sich, dass — wie ich mich ausdrücken würde — bei Farbenblinden die zweifache Funktion der Netzhaut, S. und RE, für die einzelnen Farben in gleicher Weise herabgesetzt ist (vgl. W. A. Nagel, Zeitschr. f. Augenheilk. März 1901. S. 231). Die Methode steht an Zuverlässigkeit natürlich weit der des Nachweises der Simulation einseitiger Amaurose vermittelst Prüfung der RE nach.

Die Pupillarreaktion bei Gesichtsfelddefekten.

§ 63. Dasselbe lässt sich sagen von dem Versuch, Simulation von Gesichtsfelddefekten mit Hilfe der Prüfung der PR nachzuweisen. Dieser Versuch beruht auf ganz anderen Prinzipien und kann nur anhangsweise an dieser Stelle mitgeteilt werden. Nicht der Lichtreflex, sondern die Haab'sche Aufmerksamkeitsreaktion liegt ihm zu Grunde: Der Kranke sitzt, ein Auge verbunden, mir gegenüber und sieht mich an. Sein zweites, zu untersuchendes Auge, ist von der Seite her durch diffuses Licht nur eben so viel beleuchtet, dass die Pupillengrenzen deutlich zu erkennen sind. Seitlich, in dem angeblich defekten Teil des Gesichtsfeldes, halte ich, an einer Präpariernadel befestigt, eine Pappdeckelscheibe von 2 cm Durchmesser, mit zwei verschiedenen Farben, etwa Gelb auf der einen, Blau auf der anderen Fläche. Nachdem er mich eine Weile angesehen und mir wiederholt versichert hat, dass er von dem seitlichen Objekt, auch bei kleinen Bewegungen desselben, nichts wahrnimmt, halte ich es noch ein paar Sekunden ruhig und rotiere es dann so, dass dem Kranken nunmehr statt der einen die andere Farbenfläche zugekehrt wird. Dadurch wird, falls er das Objekt sieht, seine durch das lange Vorsichhinstarren eingeschläferte Aufmerksamkeit wach, er akkommodiert unwillkürlich und verrät durch die begleitende Pupillenverengerung, dass er das Objekt gesehen hat. Tritt bei wiederholten Versuchen regelmäßig die Pupillenverengerung ein, so dürfen wir, mit einiger Wahrscheinlichkeit, den Menschen für der Simulation überführt halten (vgl. 79).

Therapie der Pupillenstörungen.

§ 64. Einer besonderen Therapie bedürfen die Pupillenstörungen nicht. Sie heilen mit der Heilung des Grundleidens in der Regel von selbst oder verursachen doch an und für sich so wenig Beschwerden, dass um ihretwillen niemand ärztliche Hilfe nachsucht. Eine vernünftige Hygiene auf dem Gebiete der Vita sexualis wäre das beste Mittel, um, wie viele andere Übel, so auch die Pupillenstörungen zu verhüten. Bei bereits ausgebrochener Krankheit ist die Prognose um so besser, je frühzeitiger die wirkliche Ursache erkannt und beseitigt wird. So sieht man eine Sphinkterparese nicht selten, sei es mit, sei es ohne Behandlung, zurückgehen und eine schwer bewegliche Pupille wieder frei beweglich werden. Auch reflektorische Starre kann dauernd oder nur vorübergehend verschwinden (»recidivierende oder intermittierende reflektorische Pupillenstarre«; vgl. 89, 98, 119). Wegen der springenden Mydriasis s. § 56.

Symptomatisch mag man — ob sehr zum Nutzen der Patienten, steht dahin — einiges zu helfen versuchen; bei sehr engen Pupillen durch Kokain u. dgl., um die Pupillen und das Gesichtsfeld zu erweitern, bei Mydriasis durch Eserin, um die Pupillen zu verengern und das Sehen freier von Zerstreuungskreisen zu machen. KIRCHNER (112) erreichte den gleichen Effekt, und zwar, wie es scheint, nicht nur vorübergehend, sondern dauernd, durch Anregung der Lidschlusskontraktion der Pupillen.

Litteratur.

Die mit einem * bezeichneten Nummern enthalten weitere Litteraturangaben.

1854. 1. v. Graefe, A., Notiz zur Behandlung der Mydriasis. Arch. f. Ophth. I, 1. S. 315.

1855. *2. Budge, Über die Bewegung der Iris. Braunschweig, Vieweg & Sohn.

1868. 3. Hensen und Völckers, Über den Mechanismus der Akkommodation. Kiel.

1869. 4. Robertson, Argyll, On the physiologie of the iris. Edinburgh med. Journ. u. Lancet. I. S. 211—212.

1873. 5. Baumeister, Direkte Reaktion der einzelnen Pupillen auf Licht bei angeborener Amaurose. Arch. f. Ophth. XIX, 2. S. 272.

1876. *6. Drouin, De la pupille; anatomie, physiologie, sémiologie.

1878. *7. Landolt, E., in de Wecker et Landolt, Traité complet d'Opht. I. S. 942.

1880. 8. Heddaeus, Klinische Studien über die Beziehungen zwischen Pupillarreaktion und Sehvermögen. Diss. Halle a. S.

9. Raehlmann, Über die neuropathologische Bedeutung der Pupillenweite. Volkmann's klin. Vorträge. No. 185.

*10. Rembold, S., Über Pupillarbewegung und deren Bedeutung bei den Krankheiten des Centralnervensystems. Tübingen, H. Laupp.

1881. *11. Leeser, J., Die Pupillarbewegung in physiologischer und pathologischer Beziehung. Wiesbaden, Bergmann.

12. Rieger und v. Forster, Auge und Rückenmark. Arch. f. Ophth. XXVII, 3. S. 192.

13. Samelsohn, Zur ophthalmotherapeutischen Wirkung des Amylnitrits. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 200.

14. v. Vintschgau, Zeitbestimmungen der Bewegungen der Iris. Arch. f. d. ges. Physiol. XXVI. S. 324 u. XXVII. S. 194.

1882. 15. Schadow, Beiträge zur Physiologie der Irisbewegung. Arch. f. Ophth. XXVIII, 3. S. 183.

1883. 16. v. Bechterew, Über den Verlauf der die Pupille verengernden Nervenfasern. Arch. f. d. ges. Physiol. XXXI. S. 60.

17. Schmeichler, Die Augenstörungen bei Tabes dorsalis. Arch. f. Augenheilk. XII. S. 451.

18. Schweigger, Fälle von Erschütterung des Sehnerven. Fall 1. Arch. f. Augenheilk. XIII. S. 244—246.

19. Wernicke, C., Über hemiopische Pupillenreaktion. Fortschr. d. Med. I, 2 und Amaurose mit erhaltener Pupillenreaktion bei einem Hirntumor. Zeitschr. f. klin. Med. VI. 4.

1884. 20. Hirschberg, Neuritis retrobulbaris. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 185.

21. Möbius, Zur Pathologie des Halssympathicus. Berliner klin. Wochenschrift. No. 15—18 u. Neurol. Beiträge. Heft 4.

1884. 22. Nieden, Fall einer Sympathicusaffektion im Gebiete des Auges. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 152 u. 1885. S. 321.

1885. 23. Bellarminoff, Anwendung der graphischen Methode zur Untersuchung der Pupillenbewegung. Photokoreograph. Arch. f. d. ges. Physiol. XXXVII. S. 107.

24. Schmeichler, Klinische Pupillenstudien. Wiener klin. Wochenschr. No. 39—42.

1886. 25. Heddaeus, E., Die Pupillarreaktion auf Licht, ihre Prüfung, Messung und klinische Bedeutung. Wiesbaden, Bergmann.

1887. 26. Laqueur], Über Beobachtungen mittelst der Zehender-Westien'schen binokularen Corneallupe. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 298.

27. Magnus, Zur Kasuistik der Sympathicusreizung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Mai.

28. Moeli, Über die Pupillenstarre bei der progressiven Paralyse. Arch. f. Psychiatrie. XVIII. S. 1.

1888. 29. du Bois-Reymond, Cl., Über das Photographieren der Augen bei Magnesiumblitz. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 68.

30. Cohn, Über Photographieren des Auges. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 65.

31. v. Forster], Über den diagnostischen Wert einzelner Pupillenphänomene. Münchener med. Wochenschr. No. 13.

32. Heddaeus, Reflexempfindlichkeit, Reflextaubheit und reflektorische Pupillenstarre. Berliner klin. Wochenschr. No. 17 u. 18.

33. Königstein, Physiologie und Pathologie der Pupillarreaktion. Wiener Klinik. No. 4.

34. Sachs, Th., Ungewöhnliche Formen hemianopischer Gesichtsstörung. Wiener klin. Wochenschr. I, 22 u. 23.

1889. 35. Berger, E., Die Sehstörungen bei Tabes dorsalis und Versuch einer einheitlichen Erklärung des Symptomenkomplexes der Tabes. Arch. f. Augenheilk. XIX.

36. Magnus, Die Entstehung der reflektorischen Pupillenbewegungen. Breslau, Kern.

37. Weir-Mitchell, S., Journ. of Nerv. and Mental Disease. Jan.

1890. 38. Damsch], Über Pupillenunruhe Hippus bei Erkrankungen des Centralnervensystems. Neurol. Centralbl. No. 3.

39. Remak, E., Basale Hemianopsie. Neurol. Centralbl. No. 5.

40. Steinach, E., Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. Arch. f. d. ges. Physiol. XLVII. S. 289.

1891. 41. Haab, Der Hirnrindenreflex der Pupille. Festschrift für Naegeli.

42. Hirsch, Ein Beitrag zur Chirurgie des Occipitalhirns. Diss. Würzburg.

43. Philipsen, Ein paar Notizen ophthalmologisch-diagnostischen Inhalts. Ref. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1893. S. 520.

44. Schütz, Anatomische Untersuchungen über den Faserverlauf im centralen Höhlengrau und den Nervenfaserschwund in demselben bei der progressiven Paralyse. Arch. f. Psych. XXII. S. 527—587.

45. Story, Temporal Hemianopsie of left eye and absolute blindness of right. Brit. med. Journ. 10. Juni.

1892. 46. Berger, E., Les maladies des yeux dans leurs rapports avec la pathologie générale. Paris. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1892. S. 208 ff.

47. Cohn, Lehrbuch der Hygiene des Auges.

48. Lyder Borthen, Die topisch-diagnostischen Verhältnisse bei einseitiger reflektorischer Pupillenstarre. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXX. 4. S. 121.

49. Seggel, Ein Fall einseitiger reflektorischer Pupillenstarre. Arch. f. Augenheilk. XXIV. S. 234 u. XXVI. S. 151.

1893. 50. du Bois-Reymond, Das Photographieren der Augen bei Magnesiumblitzlicht. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1894. S. 171.
51. v. Forster, Über feinere Störungen bei der Pupillenbewegung. Naturforschervers. in Nürnberg. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1894. S. 18.
52. Goldzieher, Ein Fall von tuberkulöser Geschwulst in den Vierhügeln mit Ophthalmoplegia bilateralis. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 44.
53. Heddaeus, Über hemiopische Pupillarreaktion. Deutsche med. Wochenschrift. No. 31.
54. Knies, Die Beziehungen des Sehorganes und seiner Erkrankungen zu den übrigen Krankheiten des Körpers und seiner Organe. Wiesbaden.
55. Reche, Pupillenungleichheit. Deutsche med. Wochenschr. No. 13.
56. Sachs, M., Eine Methode zur objektiven Bestimmung des Farbensinnes. Arch. f. Ophth. XXXIX, 3. S. 108—125.
1894. 57. v. Bechterew, Über pupillenverengernde Fasern. Neurol. Centralbl. No. 22.
*58. Braunstein, Zur Lehre von der Innervation der Pupillenbewegung. Wiesbaden, Bergmann.
59. Falk, M. (Petersburg), Zur Kasuistik der Störungen der Pupillenreaktion. Ref. Centralbl. f. Nervenheilk. u. Psychiatrie. 1895. S. 330.
60. Heddaeus, Zur Frage der hemiopischen Pupillenreaktion. Allg. Wiener med. Zeitung. No. 31 u. 32.
*61. Henschen, Klinische und anatomische Beiträge zur Pathologie des Gehirns. Teil III. S. 100—115.
62. Henschen, Über hemianopische PR. Kongr. zu Rom. Mit Diskussion v. Uhthoff u. Samelsohn.
63. Krüger, Über die Pupillenreaktion nebst Mitteilung eines Falles von einseitiger reflektorischer Starre. Diss. Berlin.
64. Möbius, P. J., Diagnostik der Nervenkrankheiten. Leipzig, Vogel.
65. Samelsohn, Seltenere Beobachtungen zur Semiotik der Pupillarreaktion. Deutsche med. Wochenschr. No. 4 u. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 180.
66. Schirmer, O., Untersuchungen zur Physiologie der Pupillenweite. Arch. f. Ophth. XL, 5.
67. Schwarz, O., Ein Fall von rechtsseitiger unvollständiger reflektorischer und linksseitiger unvollständiger akkommodativer Pupillenstarre. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 357.
68. Uhthoff, Untersuchungen über die bei der Syphilis des Centralnervensystems vorkommenden Augenstörungen. Arch. f. Ophth. XL, 1.
69. Wernicke, R., Vollständige linksseitige Blindheit ohne jeglichen objektiven Befund. Deutsche militärärztl. Zeitschr. XXIII, 5.
1895. 70. v. Bechterew, Über die willkürliche Erweiterung der Pupille. Zeitschr. f. Nervenheilk. VII. 5 u. 6.
71. Ewetzky, Recidivierende Amaurose mit nachfolgender Hemianopsia temporalis. Med. Rundschau. No. 4 u. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 265.
72. Laqueur, Über einen Fall von Embolie der Centralarterie mit Freibleiben des temporalen Netzhautbezirkes nebst Bemerkungen über die centripetalen Pupillenfasern. Arch. f. Augenheilk. XXX. S. 75—91.
73. Moll, Der Reizzustand des Auges, drei durch Trigeminusreizung ausgelöste Reflexe. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 66.
74. Rindfleisch, Ein Fall von einseitiger Lähmung des Sphincter iridis. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg.
75. Schanz, Drei Fälle einseitiger reflektorischer Pupillenstarre. Arch. f. Augenheilk. XXXI. S. 259.
1896. 76. Baas, Die semiotische Bedeutung der Pupillenstörungen. Vossius' Abhandlungen. I, 3.

1896. 77. Elschnig, Die Funktionsprüfung der Augen.

78. Frenkel, H. (Lyon), Sur la réaction dite paradaxale de la pupille. Rev. de Méd. u. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 671.

79. Heddaeus, Der Haab'sche »Hirnrindenreflex« der Pupille in seiner Beziehung zur »hemiopischen Pupillarreaktion«. Arch. f. Augenheilk. XXXII, 2.

80. Marina, Über multiple Augenmuskellähmungen und ihre Beziehungen zu den sie bedingenden nervösen Krankheiten. Wien.

81. Saenger, Über eine neue Pupillenreaktion. Naturforscherver. in Frankfurt a. M.

1897. 82. Brixa, Über Fehlen der Pupillarreaktion bei erhaltener Lichtempfindung. Wiener klin. Wochenschr. No. 36.

83. Möbius, P. J., Über die Tabes. Berlin, S. Karger.

84. Schirmer, O., Untersuchungen zur Pathologie der Pupillenweite und der centripetalen Pupillenfasern. Arch. f. Ophth. XLIV, 2.

85. Vysin, Zwei Fälle von perverser Pupillenreaktion. Ref. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 602.

1898. 86. Baas, Die Seh- und Pupillenbahnen. Magnus' augenärztliche Unterrichtstafeln. Heft 14.

87. Bach, L., Verhandl. d. Würzburger phys.-med. Ges. Centralbl. f. Nervenheilk. u. Psychiatrie. April.

88. Bernheimer, St., Die Reflexbahnen der Pupillarreaktion. Arch. f. Ophth. XLVII. S. 1.

89. Eichhorst, Einige Bemerkungen über intermittierende Pupillenstarre bei Tabes dorsalis. Deutsche med. Wochenschr. No. 23.

90. Franke, Ein Fall von Hippus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 586.

91. Grunert, Der Dilatator pupillae des Menschen, ein Beitrag zur Anatomie und Physiologie der Irismuskulatur. Arch. f. Augenheilk. XXXVI, 4. S. 318.

92. Laqueur, Beiträge zur Lehre von der Pupillenbewegung. Arch. f. Augenheilk. XXXVIII, 2. S. 135.

93. Liebrecht, Über das Wesen und die diagnostische Bedeutung der Pupillenerscheinungen. Berliner klin. Wochenschr. S. 1072.

*94. Schmidt-Rimpler, Die Erkrankungen des Auges im Zusammenhang mit anderen Krankheiten. Wien, Alfred Hölder.

95. Schwarz, O., Die Bedeutung der Augenstörungen für die Diagnose der Hirn- und Rückenmarkskrankheiten. Berlin, Karger.

96. Spiro, Über die Wirkung der Miotica und Mydriatica bei Pupillenlähmung. Ref. Ophth. Klinik. S. 93.

97. Thiemich, Über periodische Schwankungen der Pupillenweite beim Cheyne-Stokes'schen Atmen. Jahrb. f. Kinderheilk. XLVII. 4. S. 455.

98. Treupel, Demonstration eines Falles von intermittierender reflektorischer Pupillenstarre. Münchener med. Wochenschr. No. 35.

1899. 99. v. Fragstein und Kempner, Pupillenreaktionsprüfer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 243.

100. Hirschl, Über die sympathische Pupillenreaktion und über paradoxe Lichtreaktion der Pupillen bei der progressiven Paralyse. Wiener med. Wochenschr. No. 22 u. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 318.

*101. König, W., Über »springende Pupillen« bei cerebraler Kinderlähmung nebst einigen Bemerkungen über die prognostische Bedeutung derselben bei normaler Lichtreaktion. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XV.

102. Piltz, Über Aufmerksamkeitsreflexe der Pupille. Neurol. Centralbl. No. 1.

103. Schaefer, Gerh., Über die Untersuchung auf Anisokorie ohne Pupillenstarre. Diss. Gießen.

*104. Schultz, H., Die älteren und neueren Mydriatica, Miotica und Anaesthetica in der Augenheilkunde. Arch. f. Augenheilk. XL. 2. S. 125.

1899. 105. Schwarz, O., Zur hemiopischen Pupillenreaktion. Zeitschr. f. Augenheilk. II.

106. Schwarz, Zur Differentialdiagnose zwischen spastischer, organisch-paralytischer und medikamentöser Mydriasis. Ref. Ophth. Klinik. S. 306.

107. Silex, Beitrag zur Kenntnis einiger seltener Gesichtsanomalien. Zeitschrift f. Augenheilk. II, 2. August.

*108. Vervoort, Die Reaktion der Pupille bei der Akkommodation und der Konvergenz und bei der Beleuchtung verschieden großer Flächen der Retina mit einer konstanten Lichtmenge. Arch. f. Ophth. IL. S. 348.

1900. 109. Abelsdorff, Über die Möglichkeit eines objektiven Nachweises der Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. XLI. S. 155 u. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1902. S. 425.

110. Bach, Experimentelle Untersuchungen und Studien über den Verlauf der Pupillar- und Sehfasern nebst Erörterungen über die Physiologie und Pathologie der Pupillarbewegung. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XVII. S. 456.

111. v. Bechterew, Über paradoxe Pupillenreaktion und über pupillenverengernde Fasern im Gehirn. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XVI, 3 u. 4.

112. Kirchner, Eine wenig gekannte Pupillenreaktion (Lidschlussreflex der Pupille) und ihre therapeutische Verwertung. Münchener med. Wochenschrift. No. 44 u. 45.

113. Langendorff, Über die Beziehungen des oberen sympathischen Halsganglions zum Auge und zu den Blutgefäßen des Kopfes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXXVIII. S. 129 u. 823.

114. Levinsohn, Beitrag zur Ophthalmoplegia interna mit besonderer Berücksichtigung der reflektorischen Pupillenstarre. Arch. f. Augenheilk. XL, 4. S. 388.

115. Pick, A., Über Pupillendifferenzen bedingt durch differente Wirkung der direkten und indirekten Beleuchtung. Neurol. Centralbl. S. 930.

116. Riegel, Über einige Pupillenstörungen. Münchener med. Wochenschr. S. 784.

117. Salomonsohn, Über Hemianopsie und ihre lokaldiagnostische Bedeutung. Deutsche med. Wochenschr. No. 42 f.

118. Silex, Über die sogenannte paradoxe Pupillenreaktion. Zeitschr. f. Augenheilk. III, 6. S. 498—504.

119. Tanzi, Singolari contegno delle pupille in un caso iniziale di paralisi progressiva. Ref. Neurol. Centralbl. S. 771.

120. Wolff, Hugo, Über Pupillenreaktionsprüfung mit Berücksichtigung der Refraktion des untersuchten Auges, sowie über centrale und periphere Pupillenreaktion nebst Angabe eines neuen Instrumentes. Berliner klin. Wochenschr. No. 28.

1901. 121. Bericht über d. 29. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg.

122. Cestan et Dupuy-Dutemps, Le signe pupillaire d'Argyll-Robertson, sa valeur séméiologique; ses relations avec la syphilis. Gaz. des Hôp. S. 1433. Ref. Neurol. Centralbl. 1902. S. 1068.

123. Gessner, Über die springende Mydriasis. Münchener med. Wochenschrift. 12. März.

124. Hirschberg, Über die Pupillenbewegung bei schwerer Sehnervenentzündung. Berliner klin. Wochenschr. No. 47 u. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 416.

125. Levinsohn und Arndt, Über die Einwirkung der gebräuchlichen Pupillenreagentien auf pathologische Pupillen. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XX, 5 u. 6. S. 397.

1901. 126. Mantoux. Intermittence du signe d'Argyll-Robertson dans le tabes. Crises gastriques concomitantes. La Presse méd. No. 104. S. 349 u. Centralbl. f. Nervenheilk. u. Psychiatrie. 1902. S. 587.

127. Marina, Studien über die Pathologie des Ciliarganglions bei Menschen. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XX, 5 u. 6. S. 369—396.

128. Riegel, Über die springende Mydriasis. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XVII. S. 169—170.

129. Siegrist, Vgl. No. 121, Diskussion über die Pupillarreaktion.

130. Vossius, Über die hemianopische Pupillenstarre. Samml. zwangl. Abhandl. a. d. Gebiete d. Augenheilk. IV, 3.

131. Vossius, Über die Siderosis bulbi. Vgl. No. 121.

1902. 132. Gunn, Ophth. Rev. Okt. u. Zeitschr. f. Augenheilk. Juli 1903. S. 66.

133. Haab, Der Hirnrindenreflex der Pupille. Arch. f. Augenheilk. XLVI. S. 1.

134. Heine, Über den Einfluss des intraarteriellen Druckes auf Pupille und intraokularen Druck. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Jan. S. 25.

135. Hirschberg, Umschriebener Schwund der Regenbogenhaut bei spezifischer Pupillenerweiterung. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 82.

136. Mann, Zur Symptomatologie der Tabes unter spezieller Berücksichtigung der Augensymptome. Schles. Ges. f. vaterl. Kultur in Breslau. Deutsche med. Wochenschr. V.-B. S. 271.

*137. Meyerhof, Zur Geschichte der Lidschlussreaktion der Pupille. Berliner klin. Wochenschr. No. 5.

138. Nonne, Über die sogenannte myotonische Konvergenzträgheit lichtstarrer Pupillen. Neurol. Centralbl. S. 1000.

*139. Piltz, Die paradoxe Pupillenreaktion. Neurol. Centralbl. No. 20—22.

140. Ruge, Über Pupillarreflexbogen und Pupillarreflexcentrum. Münchener med. Wochenschr. 30. Juni.

141. Saenger, Über myotonische Pupillenbewegung. Neurol. Centralbl. 16. Sept.

142. Salomonsohn, Zur Lokalisation der einseitigen Ophthalmoplegia exterior. Arch. f. Ophth. LIV. S. 211. Mit Nachtrag. LV. S. 265.

143. Schrameck, Über die Deformation der Pupillen und ihre Beziehung zum Argyll-Robertson'schen Symptom. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Mai. S. 456.

144. Strzeminski, Un cas rare de l'affection hystérique des yeux chez un homme. Rec. d'Ophth. Aug.

145. Tange, Die normalen Pupillenweiten. Arch. f. Augenheilk. XLVI, 1. S. 49.

146. Wall und Walker, Lancet. 12. Juli u. Zeitschr. f. Augenheilk. Aug. 1903. S. 68.

147. Wolff, G., Zur Frage der Lokalisation der reflektorischen Pupillenstarre. Zeitschr. f. Nervenheilk. XXI.

1903. 148. Bach und Meyer, Weitere experimentelle Untersuchungen über die Beziehungen der Medulla oblongata zur Pupille. Arch. f. Ophth. LVI. S. 297.

149. Bielschowsky, Ein Beitrag zur Kenntnis der Pupillenphänomene. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Beilageheft. S. 308.

150. Bumke. Beiträge zur Kenntnis der Irisbewegungen. Centralbl. f. Nervenheilk. u. Psychiatrie. No. 162 ff.

151. Coppez. Untersuchung der Pupille. Arch. d'Opht. Januar-Februar u. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 115.

152. Marina. Über die Kontraktion des Sphincter iridis bei der Konvergenz und über die Konvergenz und Seitenbewegungen der Bulbi. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XXIV.

153. Piltz. Über neurotonische Pupillenreaktion. Neurol. Centralbl. No. 6. S. 253.

1903. *154. Piltz, Über den diagnostischen Wert der Unregelmäßigkeit des Pupillarrandes bei den sogenannten organischen Nervenkrankheiten. Neurol. Centralbl. No. 14 u. 15.

155. Rothmann, Über Kontraktur des Sphincter iridis lichtstarrer Pupillen bei Akkommodations- und Konvergenzreaktion. Neurol. Centralbl. No. 6.

156. Schaumann, Über die Häufigkeit und klinische Bedeutung der Pupillendifferenz nebst Bemerkungen über die »springende Mydriasis«. Zeitschr. f. klin. Med. IL, 1—4.

157. Stoewer, Ein Fall von Sehnervenatrophie bei Diabetes nebst Bemerkungen über Pupillarreaktion bei Durchleuchtung der Sklera. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Aug. S. 97.

158. Finkelnburg, Über Pupillenstarre bei hereditärer Syphilis. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk. XXIII. 5 u. 6.

159. Guttmann, Über das Bindegewebe in der menschlichen Iris. Berliner ophth. Ges. 16. Juli.

160. Freund (Prag), Über eine mit der Lichtreaktion der Pupille einhergehende Mitbewegung des Augapfels. Prager med. Wochenschr. No. 44.

1904. 161. Abelsdorff und Feilchenfeld, Über die Abhängigkeit der Pupillarreaktion von Ort und Ausdehnung der gereizten Netzhautfläche. Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XXXIV.









